BEWERTEN UND ENTSCHEIDEN

Informationsheft zur Forschungstechnologie

K.-D. Feige und K. Busch

Dummerstorf 1990

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	3
2.	Bewerten und Entscheiden im Problemlösungsprozeß	4
2.1	Definition und Begriffe	4
2.2	Methodik des Problemlösens	6
2.2.1	Gliederung des Problemlösungsprozesses	6
2.2.2	Präzisieren von Problemstellungen	8
2.2.3	Suche nach Lösungsideen	9
3.	Bewerten	17
3.1	Bewertungsstrategien	17
3.2	Aggregative Bewertung	20
3.2.1	Indexmodelle und Modellwahl	20
3.2.2	Tendenzielle Indexmodelle	27
3.3	Nichtaggregative Bewertung	29
3.4	Bewertungsverfahren	30
3.4.1	Bestimmen der Zielfunktion	30
3.4.2	Normierung der Bewertungskriterien	32
3.4.3	Wichtung der Kriterien	34
4.	Rechnergestützte Bewertung	36
5.	Literatur	43

1. Einleitung

Die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung unseres Landes wird durch eine umfassende Umgestaltung des gesellschaftlichen Lebens und aller Produktionsprozesse gekennzeichnet. Dazu ist es mehr denn je erforderlich, eine größere praktische Wirksamkeit von Forschung und Entwicklung, die verstärkte Einführung moderner Technologien, die Verbesserung der Materialökonomie und den effektiven Einsatz des gesellschaftlichen Arbeitsvermögens bei vorrangiger Beachtung ökologischer Belange zu gewährleisten. Hierfür sind die schöpferischen Leistungen der Werktätigen in allen Bereichen der Wirtschaft erforderlich. Die Weiterentwicklung bewährter Lösungen ist dabei genauso notwendig, wie das Hervorbringen völlig neuer Ideen und deren zielstrebige Einführung in die Praxis.

Neben dem soliden Fachwissen und der Motivation beeinflussen die Kenntnisse über die Methodik der Problemlösungsprozesse die Effektivität der geistigen Arbeit. In diesem Heft wollen die Autoren praktische Hinweise zum Bewerten und Entscheiden geben. Im Abschnitt 2.2 werden darüber hinaus auch die übrigen methodischen Schritte in Problemlösungsprozessen kurz dargestellt, um sowohl einen Überblick über diesen Prozess selbst zu geben und zudem die Einordnung des Bewertens und Entscheidens klar darzustellen. Neben der Erläuterung der Methodik werden im Abschnitt 5 Programme zum rechnergestützten Bewerten vorgestellt. Damit wird gleichzeitig der Weg zur rechnerintegrierten Forschung aufgezeigt.

2. Bewerten und Entscheiden im Problemlösungsprozess

2.1 Definition und Begriffe

Unter Bewerten möchten wir im Folgenden die Ausführung von Operationen oder Operationsfolgen f verstehen, die es ermöglichen, Elementen e eines Lösungsraumes R auf Basis von Merkmalsausprägungen r_i (e) ausgewählter Eigenschaften m_i (i=1,2, nw) dieser Elemente auf eine Wertemenge w_j (j=1,2, nw) abzubilden:

$$w_j(j=1,nw) \longleftarrow f[\, r_i(e),\ (i=1,2...)] \qquad e \in R$$

Dem Bewerten schließt sich die Einordnung der Wertemenge w_j (j=1,2, nw) in ein Wertsystem an, das heißt, Elemente e_k (k=1, 2, ...) werden in eine zieladäquate Ordnung gebracht (im einfachsten Fall eine Polung oder Rangfolge), wobei sich die Position eines e_k aus den zugehörigen w_j (e_k) ergibt.

Entscheidend ist die Zuordnung von Kennzeichen oder Folgebehandlungen B_K zu e_k in Abhängigkeit von der Position im Wertsystem.

Der Verallgemeinerungsgrad der Definitionen ist notwendig, um die Vielfalt intuitiver und algorithmisierter Bewertungs-Entscheidungs-Verfahren überdecken zu können.

Die von der „Bewertung“ abgetrennte „Einordnung in ein Wertsystem“ weicht von früheren, meist zweistufigen Zerlegungen ab (BUSCH u.a. 1979, PREISLER u.a. 1981, PREISLER u. BÖTTGER 1986, ESTER 1987 u.a.). Diese Unterscheidung ist jedoch immer dann von Bedeutung, wenn f nicht automatisch durch das Wertsystem bestimmt wird.

Die Einheit von Bewerten - Einordnen - Entscheiden entspringt praktischen Erwägungen:

- Bewerten eines leeren Lösungsraumes R lässt keine Einordnung und kein Entscheiden zu.
- Bewerten und Einordnen ohne Entscheidung ist reine Zahlenspielerei, da die beiden ersten Schritte vernünftigerweise nur zum Zweck der Entscheidungsvorbereitung ausgeführt werden.

  Eine Bewertung erfolgt in der Praxis erst, wenn eine Entscheidung notwendig wurde.
- Entscheiden ohne Bewertung und Einordnen führt wegen der fehlenden Positionierung im Wertsystem zur zufälligen oder konstanten Kennzeichnung oder Folgebehandlung.

Die Entscheidungsfindung setzt die Lösungsvariantenbereitstellung voraus. Diese hat im Allgemeinen das Ziel, dafür zu sorgen, dass

1. der Lösungsraum R nicht leer ist
   und

2. es unter den Elementen $e_k \varepsilon$ R eine Lösungsvariante e_{max} gibt, die hinsichtlich der Einordnung in das Bewertungssystem einem (hypothetischen) globalen Optimum nahekommt.

Der Methodenkatalog der Variantensuche ist außerordentlich umfangreich. Besonders weit gehen methodologische Analysen im Bereich der Entwicklung technischer Lösungen oder Erfindungen (s. u. a. BUSCH und BUSCH 1979, BUSCH 1984, GUTZER und MEHLHORN 1984). Ihre Ergebnisse spiegeln sich im analogen Sinne in allen Wissenschaftsgebieten und sicher auch im ständig wachsenden Verfahrens- und Algorithmen„dschungel“ der Künstlichen Intelligenz wider.

Die Lösungsbereitstellung schließt neben systematischen Methoden jedoch ebenso Zufallsentdeckungen oder die Behandlung nur eines Lösungselements e ein. In diesen Situationen bestehen meist geringere Erfolgsaussichten, einem globalen Bewertungsoptimum nahe zu kommen.

Der Entscheidungsfindung folgt die Entscheidungsrealisierung. Hierbei treffen, nach einer Phase vorrangig theoretischer Überlegungen, vermehrt praxisnahe Faktoren auf den Problemlösungsprozess.

Einer bloßen Entscheidungsausführung steht manchmal die durch die zeitliche Differenz zwischen Problemstellung und Lösungsvorschlag veränderte Bewertungssituation entgegen.

2.2 Methodik des Problemlösens

2.2.1 Gliederung des Problemlösungsprozesses

Die Geschichte der Wissenschaft ist reich an Versuchen, Methoden zum Lösen von Problemen zu finden. Wichtige Arbeiten leisteten dazu SOKRATES, ARCHIMEDES, PAPPOS, GALILEI, BACON, LULLUS, DESCARTES, LEIBNITZ und OSTWALD. Seit etwa 50 Jahren ist ein sprunghaftes Ansteigen der Anzahl der Methoden besonders zur Suche neuer technischer Lösungen zu verzeichnen. Zu den bekanntesten Autoren zählen ZWICKY, MOLES, KESSELRING, HANSEN, J. MÜLLER, LOHMANN, POLOVINKIN, H. BUSCH, RODENACKER, KOLLER, PAHL, BEITZ, ALTSCHULLER, OSBORN und GORDON (s.a. A.I. POLOVINKIN 1976 und J. MÜLLER 1980).

Es zeigte sich, dass Problemlösungsprozesse aus einer überschaubaren Anzahl stets wiederkehrender gleichartiger Arbeitsschritte bestehen. Im Bild 1 ist diese Gliederung dargestellt. Mit fortschreitendem Bearbeitungsprozess können die Arbeitsschritte sowohl parallel als auch nacheinander in verschiedenen Abstraktionsebenen mehrfach durchlaufen werden.

Ausgangspunkt für Problemlösungsprozesse sind Situationen, in denen die Befriedigung eines Bedürfnisses in einer aktuellen oder vorhersehbaren Situation mit vorhandenem Erkenntnisstand bzw. Stand der Technik nicht oder nicht hinreichend möglich ist. Das Erkennen von Problemstellungen ist von den Persönlichkeitseigenschaften der Menschen abhängig. In gleichen Problemsituationen kann es bei verschiedenen Menschen folgende Reaktionen geben:

- Es wird kein wesentlicher Unterschied zwischen Bedürfnis und Möglichkeit erkannt. Die subjektive Reizschwelle wird nicht überschritten („Betriebsblindheit“).
- Es wird eine Differenzierung zwischen Bedürfnis und Lösungsmöglichkeit erkannt, und es erfolgt entweder keine Reaktion (geistige Trägheit) oder eine destruktive Reaktion („Meckern“) oder eine konstruktive - auf die Problemlösung gerichtete - Reaktion.

Nur im letztgenannten Falle ist die subjektive Bereitschaft für die Problemlösung gegeben.

Einige Voraussetzungen und Mittel zum Erkennen von Problemstellungen sind:

- subjektive Problemsensibilität
- Beachten gesellschaftlicher Entwicklungen (Politik, Ökologie)
- Beachten des Trends der Verfügbarkeit von Ressourcen
- Beachten technischer und ökonomischer Entwicklungsgesetze
- Beobachten der internationalen Marktentwicklung (Trends)
- Analyse der Entwicklung des eigenen Fachgebietes (Fachliteratur, Patente, Messen, Fachtagungen)
- Analyse der Entwicklung angrenzender Gebiete und der Schlüsseltechnologien hinsichtlich der Wirkung auf das eigene Gebiet

- Schwachstellenanalysen in allen Phasen des Produktlebenszyklus
- Auswertung der Serviceerfahrungen
- Auswertung von Kundenwünschen und -vorschlägen
- Beachten vorhersehbarer rechtlicher Entwicklungen
- Prüfen von Mittel-Zweck-Zusammenhängen (z. B. Einsatzmöglichkeiten der Elektronik oder Biotechnologie oder neuer Technologien und Werkstoffe im eigenen Arbeitsgebiet; Analyse, in welchen anderen Gebieten eigene Entwicklungen auch angewendet werden könnten)

Zum Erkennen des richtigen Zeitpunktes für das Einleiten von Innovationsprozessen sind Trendanalysen einsetzbar. Im Abschnitt 5 wird dazu ein Baustein des Programmsystems CARAT vorgestellt.

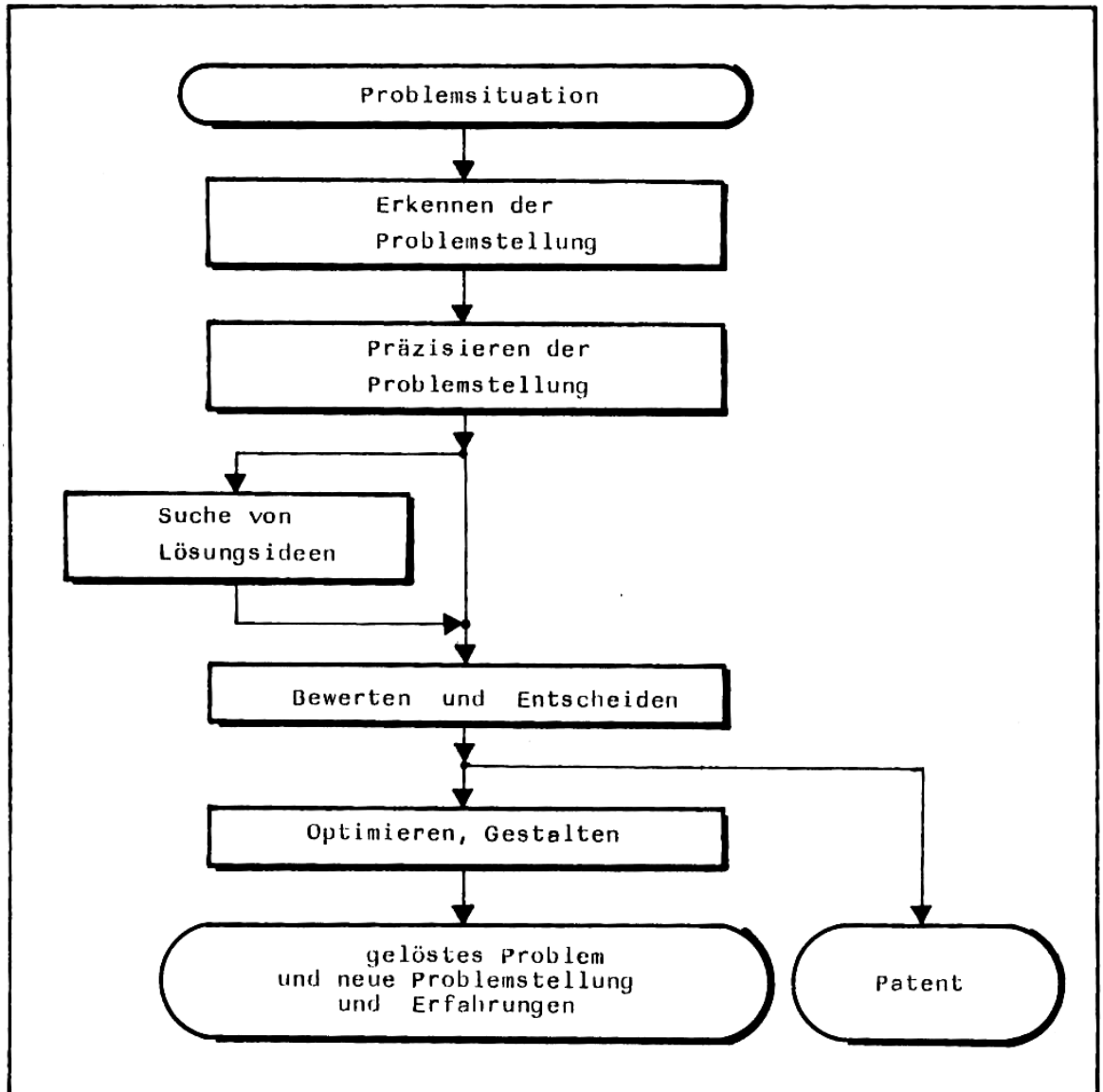


Bild 1: Gliederung des Problemlösungsprozesses

2.2.2 Präzisieren von Problemstellungen

Die präzisierte Problemstellung hat mehrere Anforderungen zu erfüllen. Sie ist erstens die Basis für den Bearbeitungsprozess; sie muss alle zur Bearbeitung erforderlichen Angaben enthalten. Sie hat zweitens eine motivierende Funktion; sie muss die Bearbeiter begeistern können. Sie ist drittens eine Vereinbarung zwischen dem Auftraggeber und dem Bearbeiterkollektiv; sie muss das Ziel in präziser Form und im beiderseitigen Interesse fixieren.
Im Ergebnis der Präzisierung müssen folgende Aussagen vorliegen:

- das gesellschaftliche bzw. betriebliche Bedürfnis und die Zweckmäßigkeit der Bearbeitung
- die zu erreichenden ökonomischen und technischen Parameter
- der Iststand, der Welthöchststand und sein Trend
- Formulierung der zu lösenden Teilprobleme und der Suchfragen
- Aussagen zum Aufwand und zulässigen Limits
- Aussagen zu den Kooperationsleistungen
- der Lösungsweg
- das Pflichtenheft

Für die Präzisierung von Problemstellungen hat sich die Blackbox-Methode bewährt. Im Bild 2 ist dieses Schema dargestellt. Geeignete Fragelisten können die Bearbeitung unterstützen. Einige solcher Fragen sind (P. KOCH 1986):

- Worin soll der Lösungsfortschritt bestehen (Erfindung, Parameterverbesserung, Kostenreduzierung)?
- In welcher Form sind die Ergebnisse vorzulegen?
- Was muss in vorgehenden Prozessen erarbeitet werden?
- Unter welchen Umständen ist die Problemlösung zu vollziehen (Zeitfonds, Arbeitskräfte, materiell-technische Basis, Kooperationspartner)?
- Welche Nebenwirkungen sind zu erwarten, welche sind zu vermeiden und welche sollten angestrebt werden (Nachnutzung, Vermarktung, Patente, Qualifizierungen)?
- Gibt es in der Rangfolge wichtigere Aufgabenstellungen?
- Ist die Aufgabenstellung unter den gegebenen Bedingungen realisierbar?

Es empfiehlt sich, beim Analysieren der Ausgangsgröße A den Betrachtungsbereich der Anwendung des Ergebnisses von der Entwicklung über die Produktion, den Absatz, den Einsatz, die Instandhaltung bis zum Recycling detailliert zu untersuchen und dabei die Stoff-, Energie- und Informationsflüsse zu quantifizieren. Die Einordnung in übergeordnete und angrenzende Systeme ist zu beachten.

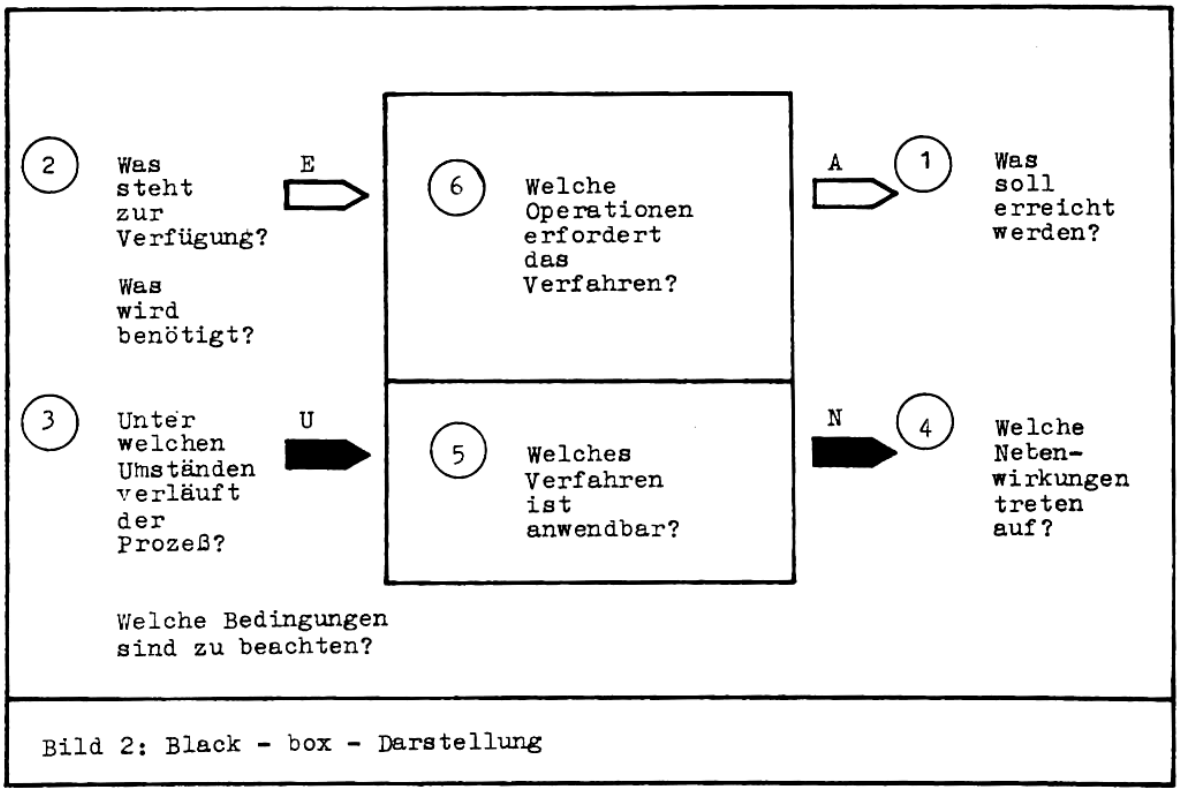


Bild 2: Black - box - Darstellung

2.2.3 Suche von Lösungsideen

Als Ausgangssituation für die Suche von Lösungsideen liegt ein Zwischenergebnis vor, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Problemsachverhalt hinreichend analysiert wurde, für das Gesamtsystem die Funktion, die Umgebung und die Struktur (Elemente, Teilsysteme, Relationen) bestimmt sind, innere Widersprüche im System erkannt wurden und die Aufgabenstellung in abstrahierter Form gefunden ist.

Unmittelbar auslösendes Element für die Lösungssuche ist die Suchfrage. Sie enthält die wesentlichen Merkmale, die die Lösung erfüllen soll und kann entscheidende Strukturkomponenten der Lösung einbeziehen. Die Suchfrage ist so zu bestimmen, dass die Lösungsfeldbreite und damit die Anzahl der Lösungsvarianten einerseits mit vertretbarem Aufwand ermittelt und ausgewertet werden können und andererseits ein hinreichender Erfüllungs- und Neuheitsgrad der Lösung gesichert ist. Ein hoher Abstraktionsgrad der Suchfrage führt zu einem breiten Lösungsfeld. Ist nur eine mit einfachen Mitteln schnell realisierbare Lösung gefordert, so ist die Suchfrage in konkreter Form zu stellen. Liste (V. HEYSE 1986 u.a.):

- Was ist das Entscheidende, Unverzichtbare des Zieles?
- Was wäre die ideale Lösung?
- Wie lautet das Problem, wenn alle Fachbegriffe bei der Beschreibung vermieden werden?
- Sind analoge Probleme oder Lösungen erkennbar?
- Worin besteht der Hauptwiderspruch, und was sind seine wichtigsten Ursachen?
- Bestehen Aussichten auf günstige Lösungen, wenn die Umgebung des Einsatzgebietes oder der Gesamtprozess verändert werden?

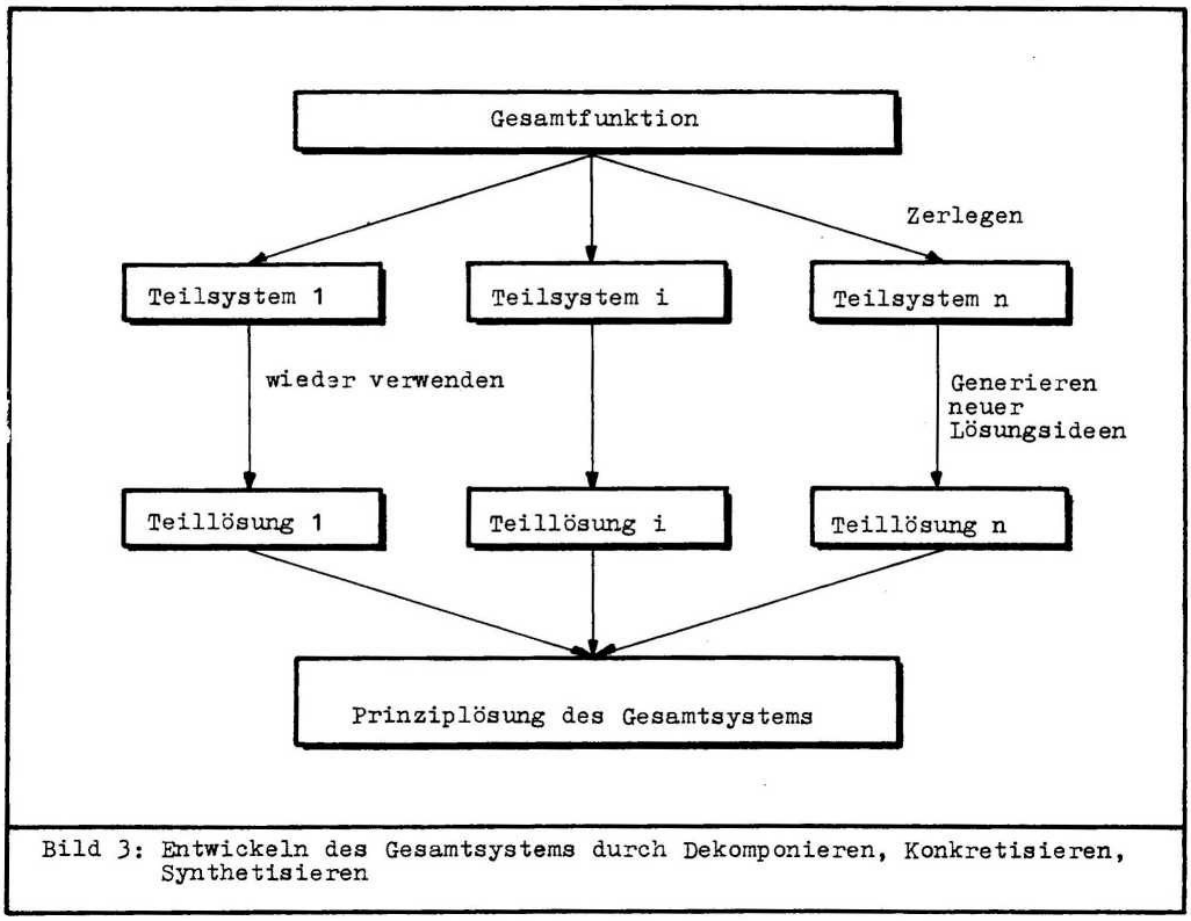


Bild 3: Entwickeln des Gesamtsystems durch Dekomponieren, Konkretisieren, Synthetisieren

Bei der Problemlösung werden - neben der Wiederverwendung aufgefundener Lösungen - eine projektierende oder neuentwickelnde Arbeitsweise sowie die Kombination beider angewandt. Voraussetzung ist in jedem Fall die Analyse des Gesamtprozesses einschließlich des Aufgliederns (Dekomponieren) der Gesamtfunktion in Teilfunktionen. Für die Teilfunktionen werden Teillösungen ermittelt, die anschließend zur Gesamtlösung synthetisiert werden (Bild 3).

Für die Neuentwicklung von Lösungen bzw. Teillösungen ist ein methodengestütztes intuitives Arbeiten erforderlich. Wir verstehen als „Intuition“ ein Element des Problemlösungsprozesses, bei dem die erworbenen und gespeicherten Einzelfaktoren spontan im Unterbewusstsein durch neue Beziehungen (Relationen) so verknüpft werden, dass eine Lösungsidee auftritt und auch als solche erkannt wird. Hauptmerkmale der Intuition sind ihre subjektiv empfundene Geschwindigkeit, die Plötzlichkeit des Auftretens und ihre Spontanität. Ein passives Warten auf eine Lösungsidee führt kaum zum Erfolg. Es gibt Bedingungen und Methoden, die das Finden von Ideen begünstigen.

Fördernde Bedingungen sind:

- intensive Beschäftigung mit dem Problem über längere Zeit (Mobilisierung)
- Betrachten des Problems aus unterschiedlichen „Blickwinkeln“
- bewusstes Zuspitzen des Problems und das Aufdecken von Widersprüchen
- Erweitern des Suchfeldes durch Analogien aus anderen Fachgebieten
- planmäßige Bearbeitung (Tageszeitregime) in ungestörter, anregender

Umgebung
- Wechsel von konzentrierter Einzelbearbeitung und Dialog im Bearbeiterkollektiv oder mit Fachkollegen

Als kreativitätsfördernde Methoden empfehlen wir in Einheit mit der Stimulierung der Intuition - besonders

- die Analogiemethode,
- die Dialogmethode,
- die Variationsmethode und
- die Kombinationsmethode.

Diese Beschränkung aus hunderten bekannten Methoden wurde gewählt, da für den praktisch tätigen Ingenieur, Naturwissenschaftler oder Leiter eine überschaubare Methodenmenge erforderlich ist, die er sicher beherrschen und den jeweiligen konkreten Problemsituationen anpassen kann.

Analogiemethode

Das Suchen und Nutzen analoger Lösungen oder Lösungswege ist eine grundlegende Vorgehensweise im menschlichen Denken. Es sei allerdings auch darauf hingewiesen, dass der analoge Schluss bisher methodisch noch nicht vollständig aufgeklärt ist und dass häufig gerade die offensichtlichen Analogien zu Misserfolgen führen können.

Analogien können zu verschiedenen Bereichen der Technik, Natur, Kunst oder Wissenschaft gebildet werden. Dabei kann die Analogiebildung auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen erfolgen.

Sollen zum Beispiel neuartige originelle Möglichkeiten zum Befestigen von Bildern oder Postern gefunden werden, wären unter anderem folgende Analogien möglich:

- Pflaster über die Wunde kleben
- Türschild anschrauben
- Zeichenblatt anheften
- Plakat ankleben
- Zeichen an die Magnettafel heften
- Flicken auf die Hose nähen
- Ankrallen von Vögeln an Baumstämme
- Anhaften von Kletten
- Festsaugen mittels Saugnäpfe
- Anhaften von Schwalbennestern

Ein spezieller Fall der Analogiemethode ist die Bionik. Hierbei werden Analoga in der belebten Natur ermittelt und in die Technik transformiert. Bekanntere Beispielpaare sind:

Delphin - Unterseeboot

Fledermaus - Funkortung

Morphologie von Pflanzen - Baukonstruktionen

Die allgemeine Vorgehensweise bei der Anwendung der Bionik ist in Bild 4 dargestellt. Einzelne Elemente dieses Prozesses sind rechnergestützt realisierbar (s. Abschnitt 4)

Dialogmethode

Der Dialog wird im Problemlösungsprozess in verschiedenen Formen geführt. Neben der Problemdiskussion, den Expertenbefragungen (z. B. Force-fit-Spiel oder Superposition) hat die Ideenkonferenz (Brainstorming) besonders große Verbreitung gefunden. Ihr Einsatz hat sich bei der Suche von Lösungsideen dann bewährt, wenn entweder überhaupt irgendeine Idee zu finden ist oder wenn unkonventionelle Lösungen erreicht werden sollen. Sie eignet sich übrigens auch zur Auflockerung des Gruppenklimas bei mehrtätigen intensiven Klausurberatungen.

Bei der Ideenkonferenz (W. GILDE; C.-D. STARKE 1970) wird die Ideensuche konsequent von der Bewertung der Ideen getrennt. Besonderes Augenmerk wird daraufgelegt, eine Atmosphäre zu schaffen, die eine positive psychologische Beeinflussung für die ungehemmt Ideenfindung schafft; dazu gibt es spezielle „Spielregeln“. Zur Durchführung einer Ideenkonferenz sind ein „Spielleiter“ und 5 bis 12 „Mitspieler“ erforderlich. Die Dauer der Ideenkonferenz sollte 20 bis 45 Minuten betragen.

Für Ideenkonferenzen hat sich folgende Verfahrensweise bewährt:

1. Vorbereitung
   Rechtzeitige (schriftliche) Einladung mit Bekanntgabe der Problemstellung. Dabei ist auf eine günstige Zusammensetzung der Gruppe zu achten (Fachleute aus anderen Gebieten hinzuziehen; möglichst hierarchisch Gleichgestellte einladen) und ein geeigneter Raum (möglichst mit rundem Tisch) auszuwählen.
2. Durchführung

2.1 Der Spielleiter eröffnet und gibt Problemstellung und „Spielregeln“ bekannt.

2.2 Freie Gedankenäußerung der Teilnehmer.
   Der Spielleiter achtet auf die Einhaltung der Regeln (keine „Killerphrasen“ zulassen!).

2.3 Alle Ideen werden aufgezeichnet (an der Tafel, Tonband, Video, Steno).

3. Auswertung
   Die Ideen werden durch Fachleute (das können durchaus auch die Teilnehmer der Ideenkonferenz selbst sein) gesichtet und bewertet (vgl. Abschnitt 3). Die Ergebnisse werden an das Bearbeiterkollektiv weitergeleitet. (Die Urheberrechte sind eindeutig vor der Konferenz zu klären.)

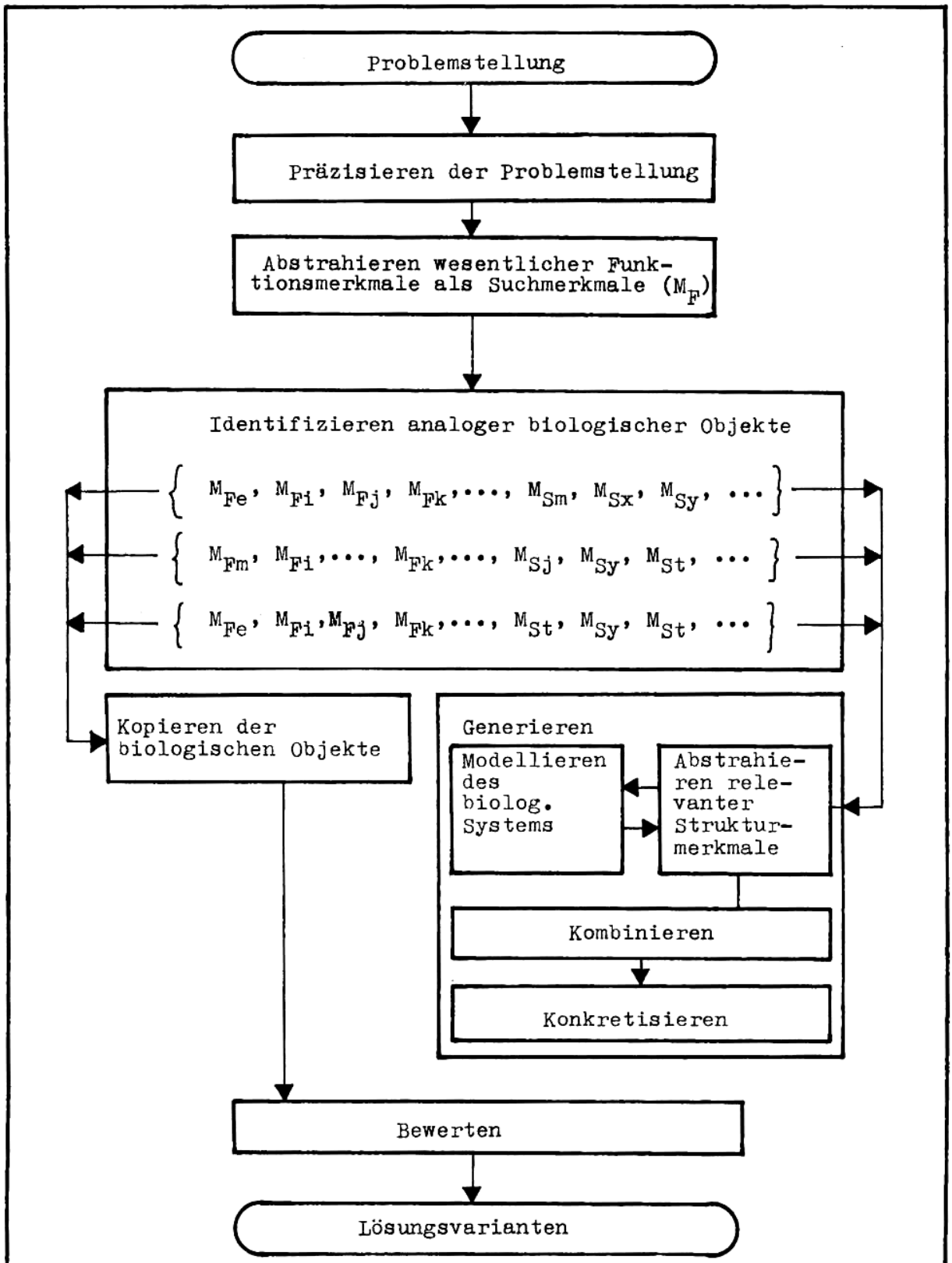


Bild 4: Allgemeine Methodik der Bionik

Beim Variieren werden aus einer gegebenen Lösung durch zielgerichtete, systematische Veränderungen von Systemeigenschaften verbesserte, weiterentwickelte oder neuartige Lösungsmöglichkeiten abgeleitet. Die Variation setzt eine Strukturanalyse voraus. Verändert werden können dabei alle Systemeigenschaften, also die einzelnen Elemente, deren Kopplungen und Anordnungen sowie die Funktion und Umgebung des Systems. Als Variationsoperationen sind neben den quantitativen Modifikationen besonders qualitative Veränderungen durch Austauschen, Hinzufügen, Weglassen, Zerlegen, Zusammenfassen und Umkehren möglich. Bild 5 gibt eine Übersicht über diese Variationsmöglichkeiten.
Als Beispiel für Variationsoperationen stehe das Fahrwerk von Kraftfahrzeugen:

- Quantitative Änderungen
  2, 3, 4, 6, ... Räder
- Qualitative Änderungen
  - Austauschen
    Prinzip der Kraftübertragung und Abstützung: mechanisch, pneumatisch, magnetisch
  - technisches Prinzip:
    Rad, Raupenkette, Luftkissen, Magnetbahn, Kufen
  - Zusammenfassen
    Vereinigung von Schlauch und Reifen
  - Zerlegen
    Zergliedern des Schlauches in Sektionen (um ein vollständiges Entweichen der Luft zu verhindern)

Das Variieren kann leicht zum Kombinieren weitergeführt werden.

Kombinationsmethode

Die Kombination baut auf der Variation auf. Zunächst wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen zerlegt. Für die wesentlichen Teilfunktionen werden Realisierungsvarianten ermittelt. Die Varianten werden dann vollständig oder teilweise miteinander in Beziehung gesetzt (kombiniert). Als Darstellungsform sind die Kombinationstabelle und die Kombinationsmatrix üblich.
Als klassisches Beispiel übernehmen wir eine Kombinationstabelle, die FENZEL (1927) in seinem Buch „Die Schule des Erfinders“ für die Problemstellung

> „Es ist eine Vorrichtung zu erfinden, mit deren Hilfe sich ein Nagel in ein Brett treiben lässt“

aufgestellt hat.
Als Teilsysteme (Variable) wählte er

- Kraft
- Kraftaufnehmer
- Bewegungs- und Kraftübertragungsmittel

1.	Quantitative Änderung (extrem bis 0 bzw.) Anzahl, Länge, Abstand, Winkel, Form, Lage, Masse, Dichte, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Festigkeit, Aggregatzustand, Magnet, Eigenschaften, elektr. Eig., therm. Eig., optische Eig., chem. Eig.
2.	Qualitative Änderung
2.1	Austauschen Nutzung anderer physikalischer Effekte Anwendung analoger technischer Prinziplösungen Materialaustausch
2.2	Hinzufügen Gegenkräfte bzw. Vorspannung vorsehen Aggregationen von Elementen Zusatzfunktionen ermöglichen
2.3	Weglassen Einsparen verzichtbarer Funktionen, Elemente und Relationen Schaffen von Einzweck- und Spezialgeräten
2.4	Zerlegen Strukturieren in mehrere gleichartige Subsysteme (Mehrstufenrakete, Mehrkammerreifen) Strukturieren in unterschiedliche Subsysteme Vorsehen von Reserven
2.5	Zusammenfassen Kombination von Einzelfunktionen zu qualitativ neuer Funktion Integration von Funktionen, Elementen und Relationen
2.6	Umkehren Vertauschen ruhender und bewegter Elemente Umkehr von Ursache und Wirkung (Ventilator, Windmühle)

Bild 5: Variationsoperationen

Durch eingeschränkte Kombination ergibt sich u. a. der Handhammer, der Dampfhammer und die hydraulische Presse (Bild 6).

Bei der Behandlung der bisherigen Abschnitte haben wir uns bewusst auf eine kurze Darstellung beschränkt. Falls detaillierte Kenntnisse über diese Problematik erforderlich oder erwünscht sind, empfehlen wir entweder die Auswertung der angegebenen Literatur, Teilnahme an entsprechenden Lehrgängen (KdT, CTC) oder Konsultationen bei den Autoren.

Die Bauakademie der DDR führt gemeinsam mit Einrichtungen des Hochschulwesens und mit der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR zweiwöchige internationale Trainingskurse und Einjahreskurse für Teilnehmer aus der DDR durch. Dabei wird nicht nur die Methodik, sondern die Einheit folgender Komponenten berücksichtigt:

- Methodik zum systematischen Ermitteln und Präzisieren sowie zum kreativen Lösen wissenschaftlich-technischer Aufgabenstellungen
- Erkenntnisse und Methoden zum Erhöhen der sozialen Kreativität
- Gesundheit und Belastbarkeit

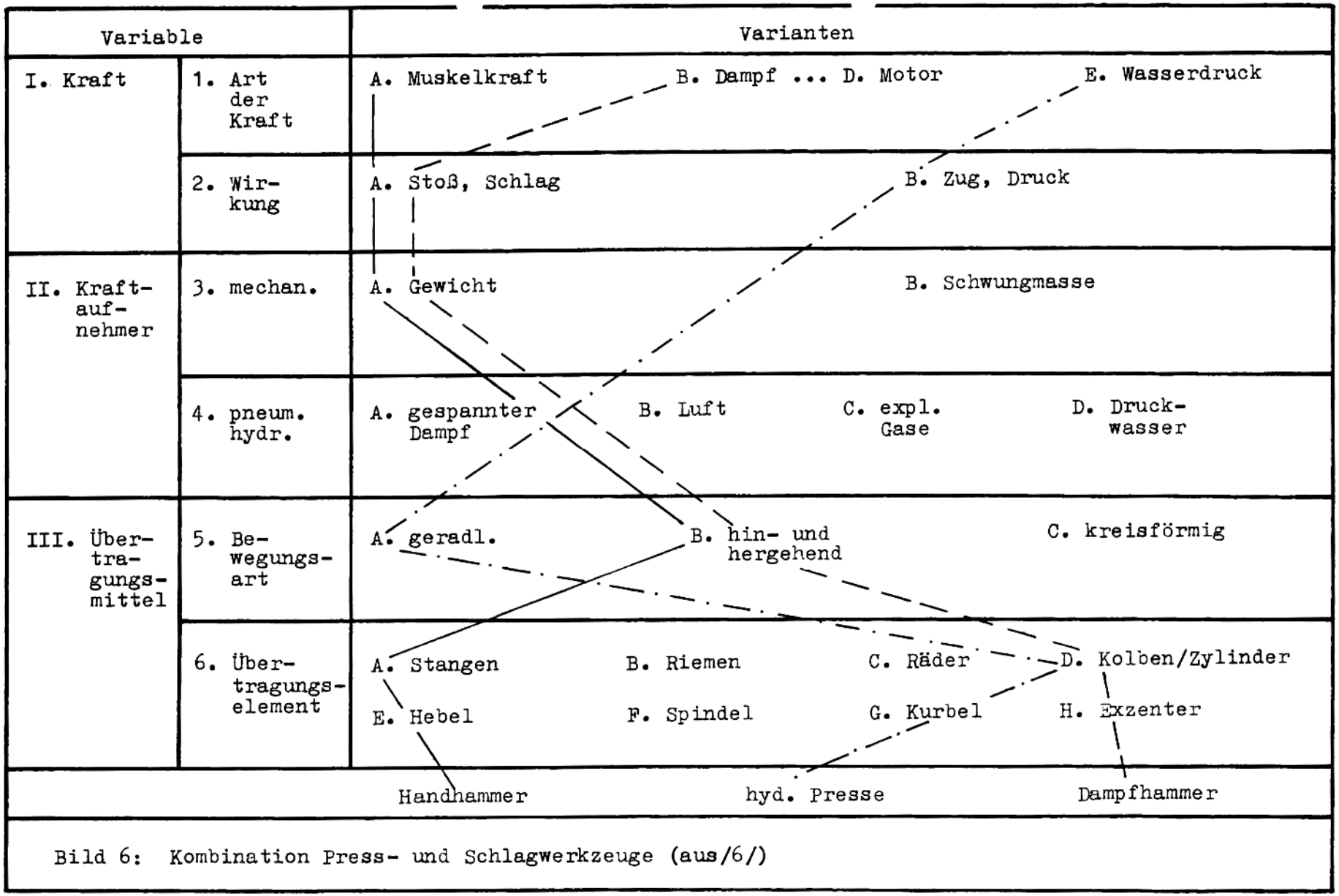


Bild 6: Kombination Press- und Schlagwerkzeuge (aus/6/)

3. Bewerten

3.1 Bewertungsstrategien

Die Anwendung von Bewertungsverfahren hat in Übereinstimmung mit empirischen Vorgehensweisen zu einem in der Bewertungspraxis bevorzugten Ablauf von abgrenzbaren Einzelschritten geführt (Bild 7). Das Schema signalisiert konsequenterweise eine methodische Unterrepräsentanz von „Einordnung“ und „Entscheidungsfindung“ selbst.

PREISLER u.a. (1981) unterstrichen eine seit Ende der 60er Jahre festzustellende Stagnation in der methodischen Entwicklung von Bewertungsverfahren. Die von den Autoren aufgeführten hemmenden Faktoren konzentrieren sich auf die Problemkreise:

1. Fehlende Akzeptanz durch fehlende Ausbildung und Mangel an praxisnahen Darstellungen der Bewertungsverfahren.
2. Unterschätzung der volkswirtschaftlichen Bedeutung des Bewertungs-Einordnungs-Entscheidungs-Prozesses (BEEP) in Forschung, Produktion und Management.
3. aufwendige Datenerhebungen und zudem komplizierte, nicht immer leicht durchschaubare Auswertungsalgorithmen.

Darüber hinaus erscheinen uns im obigen Sinne Momente einer ungenügenden Hardware-Unterstützung, der im allgemeinen hohe Abstraktionsgrad der Bewertungsinformation und die ständige Sorge, „irgendetwas Wichtiges für die sachgerechte Beurteilung vergessen“ zu haben, signifikant. Diese Situation entspricht annähernd dem aktuellen Stand der Entscheidungsfindungspraxis in der Landwirtschaftlichen Forschung der DDR.

Das Gefälle zwischen vorhandenen oder erhebbaren Daten und den tatsächlich ausgenutzten Informationen für die Entscheidungsfindung kann möglicherweise, neben der Beseitigung von subjektiven Hemmnissen, durch die Rationalisierung und Automatisierung der geistigen Routinetätigkeiten der Bewerter beseitigt werden. Dafür bietet sich als geeignetes Medium der Computer an.

Die Leistungsgrenzen der Rechner der 4. Generation lassen folgende Aufgabenbereiche erfolgsträchtig erscheinen:

1. Generieren von Lösungsansätzen
   (rechnerunterstützt und automatisch),
2. Wahl der Bewertungskriterien
   (rechnerunterstützt),
3. Wahl des Bewertungsmodells und des Wertsystems,
   (rechnerunterstützt),
4. Planung der Bewertungsdatenerhebung
   (rechnerunterstützt und automatisch),
5. Ausführung der Bewertungsalgorithmen
   (automatisch und rechnerunterstützt),

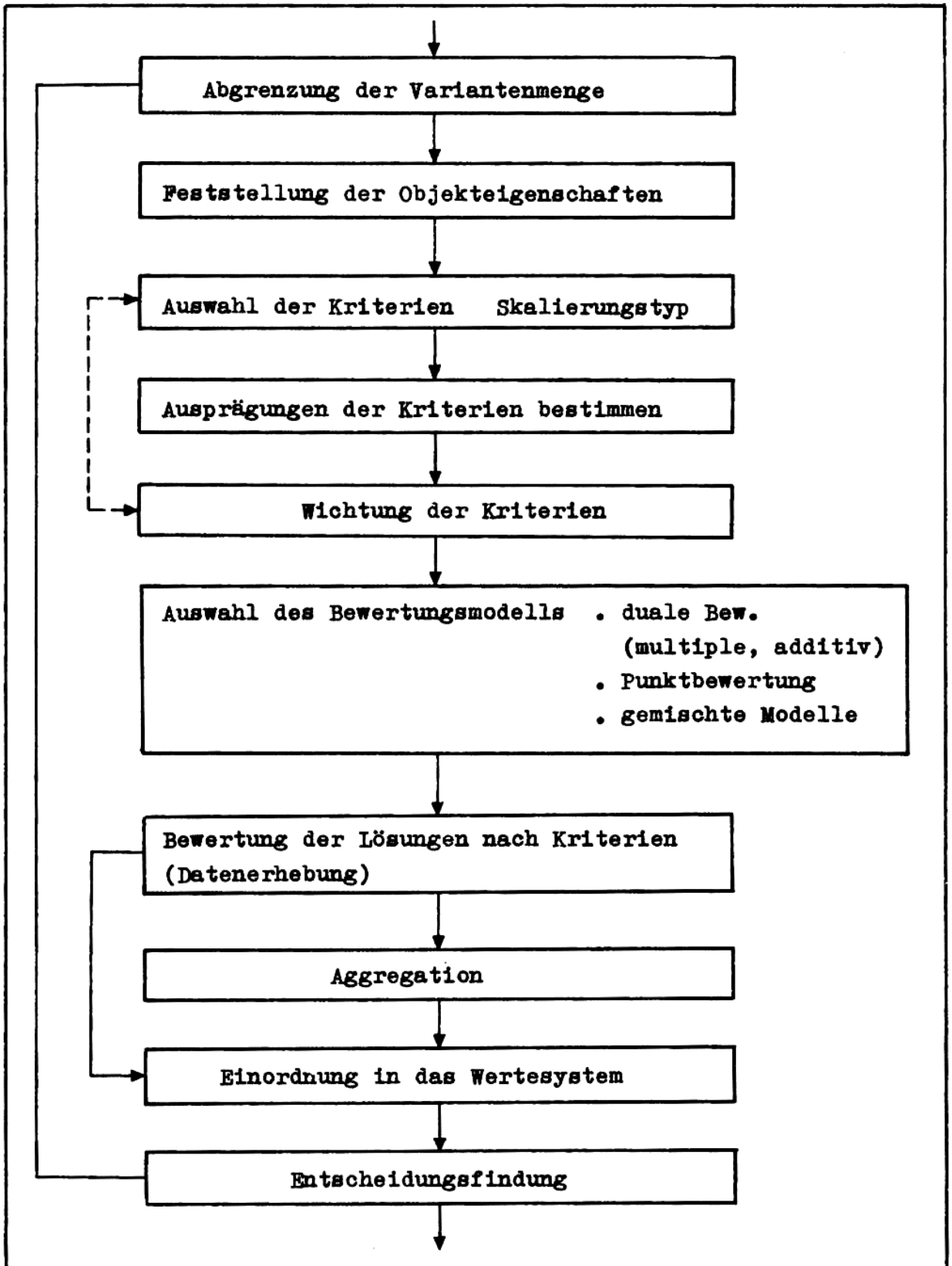


Bild 7: Schema des Bewertungs-Entscheidungs-Prozesses

6. Bereitstellung und Speicherung von Bewertungsinformationen (automatisch),
7. Entscheidungshilfen und Darstellung der Bewertungsergebnisse (rechnerunterstützt).

Bei Möglichkeit einer algorithmisierbaren Zielfunktions-Findung können die BEEP's ganzer Problemklassen vollständig rechnerintern ausgeführt werden. Derartige Lösungen finden heute bereits in der Robotertechnologie Anwendung.

Eine Auflistung von für die Bewertung besonders geeigneten biologischen und landwirtschaftlichen Teilgebieten, kann entfallen, da sicher kein Bereich der Forschungstätigkeit hiervon ausgeschlossen ist.

„Wir sollten uns jedoch davor hüten, Mathematik und EDV zum Fetisch zu machen, sie sind stets nur Hilfsmittel und können uns nicht von der Verantwortung für getroffene Entscheidungen entlasten." (BUSCH, HERRENDÖRFER, FEIGE 1979)

Grundsätzlich können zwei Strategien des Bewertens und des Einordnens in das jeweilige Wertsystem unterschieden werden:

Aggregation und nichtaggregative Wertung.

Im Sinne der Definitionen aus Abschnitt 2.1 verbirgt sich hinter einer derartigen Unterteilung die Frage nach der Relation zwischen der Dimension nw der Wertemenge und der Anzahl nm der ausgewählten Bewertungseigenschaften:

vollständige Aggregation, Aglomeration:

$$nm > nw = 1$$

partielle Aggregation:

$$nm > nw > 1$$

nichtaggregative Bewertung, Transformation:

$$nm = nw$$

In Abhängigkeit der nw-nm-Relation ergeben sich unterschiedliche Wertsysteme und Varianten der Einordnung der Werte in diese.

Die Palette der beschriebenen vollständig aggregativen, numerischen Algorithmen ist sehr groß. Die Mehrzahl fußt auf einer aus der Problemstellung und ihren inneren Widersprüchen abgeleiteten Kriterienmenge.

ESTER (1987) verweist darauf, dass man die Frage nach der Lösung dieser inneren Widersprüche eben erst dann stellen sollte, wenn man diese Widersprüche erkannt, analysiert und quantifiziert hat. Diese Lösung kann immer nur eine Kompromisslösung sein.

3.2 Vollständig aggregative Bewertung

3.2.1 Indexmodelle und Modellwahl

Im einfachsten Fall kann ein Bewertungskriterium lediglich zwei Ausprägungen annehmen, von denen nur eine im Sinne der Zielsetzung geeignet ist. Die auf dieser Voraussetzung basierenden Methoden heißen „duale Verfahren“. Ordnet man der vorteilhaften Merkmalsausprägung den Wert 1 und der ungünstigen den Wert 0 zu, kann für das multiplikative Bewertungsmodell:

$$w_1(e_k) = r_1(e_k)\ r_2(e_k)\ \ldots\ r_{nm}\ (e_k) = r_1\ r_2\ \ldots\ r_{nm}$$

das Ergebnis $w_ı\ (e_k)$ ebenfalls nur die Ausprägungen 1 oder 0 annehmen. Das Modell wird angewendet, wenn bereits die Nichterfüllung einer Bewertungsbedingung zum Ausschluss einer Lösungsvariante führt.

Das Modell

$$w_1(e_k) = r_1 + r_2 + \ldots + r_{nm}$$

führt für $w_ı\ (e_k)$ zu einer potenziellen Palettenbreite von 0 bis nm. Es stellt den Fall einer ungewichteten Indexbewertung dar und hat bei dualen Kriterien eine nur eingeschränkt selbständige Bedeutung. Auch gemischte Modelle wie

$$w_1(e_k) = r_1\ r_2\ \ldots\ r_{n1}\ [\ r_{n1+1} + \ldots + r_{nm}\ ]$$

$$w_1(e_k) = (r_1\ r_{n1}) + (r_{n1+1}\ \ldots\ r_{n2}) + \ldots + (r_{nn}\ \ldots\ r_{nm})$$

$$w_1(e_k) = (r_1 + \ldots + r_{n1})\ (r_{n1+1} + \ldots + r_{n2})\ \ldots\ (r_{nn} + \ldots + r_{nm})$$

oder z. B.

$$w_1(e_k) = r_1\ (r_2 + r_3\ (r_4 + r_5) + r_6\ r_7\ (r_8 + r_9 + r_{10})) + r_{11} + r_{12}\ r_{13}$$

dienen in erster Linie einer Vorauswahl von Lösungsvarianten, d. h. also der Reduktion der Mächtigkeit des Lösungsraumes bei meist leicht zu ermittelnden $r_i\ (e_k)$. Der ausschließende Charakter multiplikativer Kriterien behält aber auch in Indexmodellen eine vornehmliche Bedeutung.

Eine prinzipiell andere Vorgehensweise der Bewertung stellt das Halbmatrizenverfahren dar (s. PREISLER und BÖTTGER 1986). Hierbei ist es der direkte Vergleich zwischen jeweils zwei Lösungsvorschlägen, der bei Kombination aller Lösungsvarianten untereinander, zu einer Punktbewertung führt:

Es sei L(A/B) eine (logische) Variable, die immer dann, wenn Variante V_A schlechter als V_B ist den Wert 0, bei Gleichheit den Wert 0,5 und bei Vorteilen für V_m den Wert 1 annimmt.

Als Wertmodell folgt dann:

$$w_1(e_k) = L(e_k/1) + L(e_k/1) + \ldots + L(e_k/e_{k-1}) + L(e_k/e_{k+1}) + \ldots + L(e_k/e_{nm})$$

Die Bestimmung der L(A/B)-Werte stellen andererseits erneut Bewertungs-Entscheidungs-Situationen dar, die hier jedoch meist intuitiv vorgenommen werden.
Varianten dieser Verfahrensprinzipien findet man bei MÜLLER (1970), PREISLER u.a. (1981).
Eine Gruppe von BEEP - Algorithmen gewinnt bei der rechnergestützten Anwendung zunehmend eine wichtigere Rolle:

Entscheidungsbäume.

Sie stellen die Zerlegung des gesamten BEEP in eine Folge von oft dualen Einzelentscheidungen anhand von möglichst einfach auszuführenden Teilbewertungen dar. Dabei ist jede Bewertungssituation im Gesamtprozess wiederum (hierarchisch, sukzessiv) von allen vorher getroffenen Entscheidungen abhängig.
Die Anzahl und Auswahl der verwendeten Kriterien ist so problem- und/oder lösungsvariantenabhängig geworden; es kommt zu einem „Dialog“ zwischen Bewerter und Kriterienpool (s. auch ESTER 1987).
Expertensysteme enthalten derartige vorgefertigte Entscheidungshilfen wiederholt in Form von if-then- Regeln. Die Regelsysteme sind zunehmend weniger streng hierarchisch gestaltet, bleiben aber trotzdem meist ein vom Entwickler fixiertes Bewertungssystem.
Die vorgehenden Betrachtungen setzten stillschweigend voraus, dass es dem Bewerber gelungen ist, seine Zielstellung an den BEEP in das entsprechende Bewertungsmodell zu projizieren. Hier liegt jedoch eine wesentliche Hürde im Umgang mit den Methoden und für die Ergebnissicherheit.
Die Beratungspraxis im FZT-Dummerstorf u.a. Forschungseinrichtungen belegt:

> Die Bewerter sondern bei feststehenden Auswertungsverfahren oft die notwendigen Voraussetzungen für deren Anwendung aus der Gesamtzielstellung heraus und quantifizieren nur diese, d. h. die Zielstellung wird mehr oder weniger auffällig den Auswertungsverfahren angepasst.

Es darf dann aber nicht verwundern, wenn die getroffenen Entscheidungen in den praktischen Bewährungssituationen nicht bestehen.
Hinter der Zielstellung verbirgt sich stets die gewünschte Wirkung der getroffenen Entscheidung auf die Umwelt des Menschen. Sie ist somit subjektiv bestimmt. Die Ausführung einer Entscheidung wirkt in dieser Umwelt dann aber objektiv. In diesem Sinne ist eine „Zielstellung“ folglich ein Modell der auftretenden Auswirkungen der Entscheidungen. Das Bewertungsmodell, eine algorithmisierte, vereinfachte Nachbildung wesentlicher Strukturen und Funktionen der Zielstellung, umfasst einen noch kleineren Teil der objektiven Realität.

Sie ist in Konsequenz jedoch signifikanter Repräsentant der Entscheidungsauswirkung.
Es gilt also grundsätzlich abzusichern, dass die Bewertungsmethode gewissenhaft aus der Zielstellung abgeleitet oder ausgewählt wird.
Die Konzentration der Bewerter auf die Modellkonstruktion (Modellwahl) selbst wird durch eine rechnergestützte Konstruktionsführung bzw. die Entlastung von aufwendigen Modellrechnungen möglich.
Indexmodell-Verfahren haben sich aufgrund ihrer großen Plausibilität und methodisch nutzerfreundlichen Aufbereitung den größten Anwendungsbereich erobert. Indexmodelle sind Abbildungen der Merkmalsausprägungen r_i der Bewertungskriterien m_i auf einen reellen Wert w_1.
Die Dimensionsreduzierung von Merkmalen nm auf eine eindimensionale, reellwertige Skale sind der Versuch eines Kompromisses. Er soll die Zusammenfassung der unserem Nervensystem unzugänglichen Mannigfaltigkeit von Kriterien unterschiedlichster Bedeutung im Sinne einer verständlichen Zielsetzung in eine leicht handhabbare Ordnung garantieren:

$$w_1(e_k) = f[\, r_1(e_k), \ldots, r_{nm}(e_k)] \in R$$

Für f sind unterschiedlichste Funktionen abgeleitet worden, (s. z. B. STAHL 1976, DÜCK 1978).
Häufig sind die unterschiedlich bedeutenden Kriterien in diesen Modellen über den Ausgleich durch Gewichtsfaktoren c_i additiv miteinander verbunden:

$$r_{ik} = r_i(e_k)$$

$$w_1(e_k) = \sum_{i=1}^{nm} c_i\, r_{ik}$$

$$w_1(e_k) = \sum_{i=1}^{nm} (c_{i1}\, r_{ik} + c_{i2}\, r^2_{ik})$$

$$w_1(e_k) = \sum_{i=1}^{nm} (c_{i1}\, r_{ik} + \ldots + c_{is}\, r^s_{ik})$$

Die additive Verknüpfung der gewichteten Kriterien soll dabei verdeutlichen, dass sich der Gesamtwert einer Lösungsvariante aus der Summe ihrer Einzelwerte ergibt.
Das Produktmodell

$$w_1(e_k) = \widetilde{\prod_{i=1}^{nm}}\, r_{ik}^{c_i}$$

entspricht der „Philosophie“, dass der Gesamtwert einer Variante schon dann niedrig ist, wenn mindestens ein Kriterium „negativ“ ausfällt, und er nur dann besonders hoch ist, wenn alle Merkmalausprägungen im „positiven“ Bereich der Einzelskalen liegen.
Während das additive Modell die Unabhängigkeit der Bewertungskriterien voraussetzt, werden im Produktmodell gerade die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren berücksichtigt.
Analog zur dualen Index-Bewertung sind auch hier gemischte Modelle oder if-then-Funktionen denkbar:
z. B.

$$w_1(e_k) = \overbrace{\left| \right|}^{a}_{j=1} \left(\sum_{i=1}^{b} c_{ij}\, r_{ijk} \right)^{c_j}$$

$$w_1(e_k) = \begin{cases} f_1(r_i) & \text{, wenn } r_1 <= 2 \\ f_2(r_i) & \text{, wenn } 2 > r_1 > 4 \\ f_3(r_i) & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Quantifizierung der Gewichtsfaktoren c_{ij}, c_i und c_j bildet den methodischen Schwerpunkt der Bewertung mit Indexmodellen. Alle Gewichtsfaktoren haben zunächst einen relativen Charakter, sind also nur im Zusammenhang mit allen anderen Kriterien des Modells zu betrachten.
Der direkte Vergleich der Bedeutung der Bewertungskriterien scheitert jedoch schon an der im Regelfall unterschiedlichen Skalierung der Merkmale!
Zum Vergleichbarmachen der Kriterien (Normierung) hat sich eine Transformation t der $r_i\,(e_k)$ auf eine Intervallskala $<s_u, s_o>$ bewährt:

$$r^*_{ik} = r_i^*(e_k) = t(r_i(e_k))$$

$$s_u \leq r^*_{ik} \leq s_o$$

Nach Empfehlungen von KESSELRING (1951), HANSEN (1965) und BUSCH u. a. (1979) eignet sich aus verschiedenen praktikablen Gründen eine <0,4>-Skala mit folgender verbaler Einordnung:

4 = sehr gut, Bestwert,
3 = gut,
2 = ausreichend,
1 = gerade noch tragbar,
0 = unbefriedigend.

Schwierigkeiten bei der Wahl von t bereiten meist nominal- oder ordinalskalierte Kriterien. Der subjektive Einfluss der fallweisen Skalenwertzuordnung bleibt natürlich auch in den r^*_{ik} erhalten. Die Zahlenwerte verleiten den Nutzer des Gesamtmodells aber leicht, dieses später zu vergessen.

Auch die Wahl von Transformationen bei metrischen Skalen ist eine subjektive Entscheidung!

Für derartige Skalen oder ordinale Merkmalsskalen mit einer großen Ausprägungsspanne empfehlen sich situationsabhängig verschiedene Normierungen:

Vorgabepunkte

$r_{(4)i}$ = Optimum eines Bewertungskriteriums m_i,

$r_{(o)i}$ = Pessimum eines Bewertungskriteriums m_i,

$r_{(2)i}$ = Ausprägung eines Bewertungskriteriums m_i mit mittlerer Bewertung,

$r_{(p)i}$ = Ausprägung eines Bewertungskriteriums m_i für den Skalenpunkt p ($0 < p < 4$),

$r_{(w)i}$ = Ausprägung eines Bewertungskriteriums m_i für die die Skalentransformation einen Wendepunkt besitzt (max. Anstieg von t)

lineare Transformation

a)
$$r^*_{ik} = 4 \frac{r_{ik} - r_{(\emptyset)i}}{r_{(4)i} - r_{(\emptyset)i}}$$

Es folgt

$$r_{(p)i} = \frac{p(r_{(4)i} - r_{(\emptyset)i})}{4} + r_{(\emptyset)i}$$

$$r_{(2)i} = \frac{r_{(4)i} + r_{(\emptyset)i}}{2}$$

quadratische Transformation

b)
$$r^*_{ik} = a\, r_{ik} + b\, r^2_{ik}$$

mit
$$a = \frac{4\, r_{(\emptyset)i}}{r_{(\emptyset)i}\, r_{(4)i} - r^2_{(4)i}}$$

$$b = \frac{4}{r^2_{(4)i} - r_{(\emptyset)i}\, r_{(4)i}}$$

entspricht

$$r^*_{ik} = \frac{4\, r_{ik} (r_{ik} - r_{(\emptyset)i})}{r_{(4)i} (r_{(4)i} - r_{(\emptyset)i})}$$

Es folgt

$$r_{(p)i} = \frac{r_{(0)i} + \sqrt{r^2_{(0)i} - p\, r_{(0)i}\, r_{(4)i} + p\, r^2_{(4)i}}}{2}$$

$$r_{(2)i} = \frac{r_{(0)i} + \sqrt{r^2_{(0)i} - 2\, r_{(0)i}\, r_{(4)i} + 2\, r^2_{(4)i}}}{2}$$

Die Krümmung der Kurve ist hier nicht einstellbar!

c)

$$r^*_{ik} = a\, r_{ik} + b\, r^2_{ik} + c$$

mit

$$a = \left(\frac{p\,(r^2_{(4)i} - r^2_{(0)i}) - 4\,(r^2_{(p)i} - r^2_{(0)i})}{(r_{(p)i} - r_{(0)i})(r^2_{(4)i} - r^2_{(0)i})} \right)^{-1} - \left(\frac{p\,(r^2_{(4)i} - r^2_{(0)i} - 4\,(r^2_{(p)i} - r^2_{(0)i})}{(r_{(4)i} - r_{(0)i})\,(r^2_{(p)i} - r^2_{(0)i})} \right)^{-1}$$

$$b = \frac{4 - a(r_{(4)i} - r_{(0)i})}{(r^2_{(4)i} - r^2_{(0)i})}$$

$$c = -(a\, r_{(0)i} + b\, r^2_{(0)i})$$

Es folgt

$$r_{(p)i} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4(c - p)b}}{2b}$$

(nur geeignet, wenn für das vergebbare Wertetupel $(p, r_{<p>i})$ auch $0 \le r^*_{ik} \le 4$ für alle $r_{ik} \varepsilon <r_{<o>i}, r_{<4>i}>$ gilt)

logarithmische / exponentielle Transformation

d)

$$r^*_{ik} = a \ln r_{ik} + c$$

mit

$$a = \frac{4}{\ln r_{(4)i} - \ln r_{(0)i}}$$

wobei $r_{(4)i} > 0$ und $r_{(0)i} > 0$

Es folgt

$$r^*_{ik} = a\,(\ln r_{ik} - \ln r_{(0)i}) = 4\,\frac{\ln r_{ik} - \ln r_{(0)i}}{\ln r_{(4)i} - \ln r_{(0)i}}$$

und

$$r_{(p)i} = \sqrt[4]{\frac{r^p_{(4)i}}{r^p_{(0)i}}}\; r_{(0)i}$$

$$r_{(2)i} = \sqrt{r_{(0)i}\, r_{(4)i}}$$

Die Krümmung der Kurve ist hier fixiert.

e)

$$r^*_{ik} = a\,(r_{ik} - r_{(0)i})^b$$

mit

$$b = \frac{\ln p - \ln 4}{\ln (r_{(p)i} - r_{(0)i}) - \ln (r_{(4)i} - r_{(0)i})}$$

$$a = \frac{4}{(r_{(4)i} - r_{(0)i})^b}$$

bei vorgebbaren Wertetupel $(p, r_{\langle p \rangle})$

Es folgt

$$r_{(p)i} = \sqrt[b]{\frac{p}{4}} + r_{(0)i} = \sqrt[b]{\frac{p}{4}}\,(r_{(4)i} - r_{(0)i}) + r_{(0)i}$$

f)

$$r^*_{ik} = a^{r_{ik}} + c$$

mit $c = -a^{r_{(0)i}}$

und $a = \left(4 + a^{r_{(0)i}}\right)^{1/r_{(4)i}}$ (iterativ berechnen!)

Es folgt

$$r_{(p)i} = \frac{\ln (p - c)}{\ln a}$$

Die Kurvenkrümmung ist fixiert.

Die betrachteten Transformationen stellten im Einsatzfall sämtlich monotone Funktionen dar. In realen Bewertungssituationen treten jedoch immer wieder Kriterien auf, die sich dieser Monotonie entziehen oder die sich aus mehreren Bewertungsmerkmalen zusammensetzen. Derartige Kriterien müssen im Sinne einer Teilzielsetzung monotonisiert werden. Auch hierbei ist problemspezifisch vorzugehen (s. Tabelle 1). Weitere Modelle findet man bei FEIGE 1990.

3.2.2 Tendenzielle Indexmodelle

Menschliches Bewertungsverhalten zu simulieren, erfordert die zeitabhängige Quantifizierung der Kriteriengewichte c_i. Jeder wird bei sich selbst bestimmt häufiger die Veränderung persönlicher Wertauffassungen erlebt haben.

Im Normalfall vollzieht sich die Veränderung der c_i traditionell mit der Geschichte der Bewertungssituation. Andererseits ist der Bewertende bei neuen Problemen gezwungen, seine Ziel- oder Wertvorstellungen aus anderen, möglichst analog gelagerten Entscheidungsfällen abzuleiten. Es sei $Y_{k,t} = w_4(e_{k.t})$ die Bewertung einer Lösung e_k zum Zeitpunkt t und $c_{i.t} = c_i(t)$ das Gewicht des Kriteriums m_i zum Zeitpunkt t.

$$c_i = c_i(c_{i,t-1}, c_{i,t-2}, \ldots, c_{i,t-q})$$

Die c_i hängen in diesem Fall von den c_i aus q zeitlich vorgehenden BEEP ab. Der Bewerter besitzt ein endliches Gedächtnis und bestimmt mit diesem die aktuelle Wichtung:

a)

$$c_{i,t} = \frac{c_{i,t-1} + a\, c_{i,t-2} + \ldots + a^{q-1} c_{i,t-q}}{1 + a + a^2 + \ldots + a^{q-1}}$$

$$= \frac{\sum_{j=0}^{q-1} a^j c_{i,t-j-1}}{\sum_{j=0}^{q-1} a^j} \qquad \text{mit } 0 < a \leq 1$$

Die gleitende gewichtete Mittelwertbildung über die normierten $c_{i.t-j}$ entspricht einer mit wachsenden Vergangenheit abgewerteten Berücksichtigung vorher verwendeter Kriteriengewichte. Die $c_{i.t}$ sind für i = 1, ..., nm noch zu normieren bzw. können weiteren Beeinflussungen ausgesetzt sein.

Ohne die Variation der $c_{i.t}$ durch zusätzliche Faktoren bliebe die „$c_{i.t-j}$-Folge determiniert. a entspricht einem „Vergessensfaktor“.

b)

$$c_{i,t} = \frac{y_{k,t-1} + a\, y_{k,t-2} + \ldots + a^{q-1} y_{k,t-q}}{1 + a + a^2 + \ldots + a^{q-1}}$$

ist eine Verallgemeinerung Situation $c_i = c_i(r_{ik})$.

Es handelt sich hierbei um die Modell-Darstellung eines wahrscheinlich als Regelfall wirkenden Entwicklungsprozesses von Kriteriengewichten. Es steht fraglos fest, dass die individuelle Meinung normalerweise aus dem Erfahrungsschatz des betreffenden Menschen hervorgeht, und der ist nun einmal Resultat der Vergangenheit. Die hohe Stabilität bei verbleibender Flexibilität der betrachteten Bewertungsstrategie resultiert andererseits aber auch aus dem ständigen Austausch von Bewertungsergebnissen zwischen verschiedenen Bewertern sowie Lösungen k(j):

$$c_{i,t} = \frac{\sum_{j=0}^{q-1} a^{j}\, y_{k(j),t-j-1}}{\sum_{j=0}^{q-1} a^{j}}$$

c) Praktisch werden aber gemischte Wichtungsbestimmungen (aus $c_{i\cdot t-j}$ und $y_{H<j>\cdot t-j}$) bei selbst mit der Bewertungsgeschichte variierenden Wichtungen des Rückkopplungsgrades a(t-j) benötigt:

$$c_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{q} (a_1(t-j)\; c_{i,t-j}) + \sum_{j=1}^{q} (a_2(t-j)\; y_{k(j),t-j})}{\sum_{j=1}^{q} [a_1(t-j) + a_2(t-j)]}$$

Der Prozess der im Menschen ablaufenden empirischen a(t-j)-Quantifizierung ist weitgehend unbekannt und wird wohl für die Psychologen noch etlichen Untersuchungsaufwand bedeuten. Im Fall der rechnergestützten Bewertungspraxis wäre die Schätzung der Trendgewichte über die Speicherung von Zwischenergebnissen denkbar (Rechner der 5. Generation) bzw. auch über Lernstichproben realisierbar.

Zukünftig werden in der landwirtschaftlichen Forschung häufiger genaue Bewertungsprognosen zu treffen sein. In den oben betrachteten Modellen ändert sich die auf die Zukunft bezogene Laufrichtung des Summationsindexes j dann nur auf -1 bis -q, wobei jetzt t+q der gesuchte Prognosezeitpunk ist und $c_{i\cdot t+q}$ gesucht wird:

z. B.

$$c_{i,t+q} = \frac{\sum_{j=-1}^{-q} a^{-j-1}\, c_{i,t-j-1}}{\sum_{j=-1}^{-q} a^{-j-1}}$$

Die iterative Berechnung von $c_{i\cdot t+q}$ ist hierbei jedoch allein durch die Vorgabe von $c_{i\cdot t}$ bestimmt. Ein derartiges Prognoseverfahren kann aber oft scheitern. Besteht keine weitere a-priori-Information über die mögliche Variation der $y_{k\cdot t+j}$ oder $c_{i\cdot t+j)}$ (z. B. Informationen aus anderen Prognosen), verbleibt nur noch die Kombination der „historischen“ und der „prognostischen“ Berechnungsverfahren:

1. Bestimmung des Entwicklungsmodells aus Bewertungsergebnissen oder Wichtungsfaktoren vorgehender Untersuchungen
2. Bestimmung der aktuellen Kriteriengewichte
3. Modellgerechte Hochrechnung

3.3 Nichtaggregative Bewertung

Aufgrund der aufwendigen grafischen Darstellungsformen ist die nichtaggregative Bewertung weit ungebräuchlicher als die alternative Analyseform. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft und in weiteren Zweigen der Volkswirtschaft werden über den Grafik-Computer und entsprechende Software zukünftig weitaus häufiger nichtaggregative Bewertungen in den Vordergrund stellen. Obwohl theoretisch in allen Problemsituationen, die nichtaggregativ zu bewerten sind, auch aggregative Verfahren bereitstehen, empfiehlt sich die mehrdimensionale Ergebnisdarstellung meist dann, wenn

- keine hinreichend genaue Wichtung der Eigenschaften m_i erfolgen kann,
- mehrere Zielsetzungen parallel geprüft werden sollen,
- der Lösungsraum kontinuierlich wächst,
- der Einfluss einzelner Werte w, auf die Entscheidungsfindung veranschaulicht werden muss,
- die Folgen aus veränderten Wichtungs- oder Zielsituationen überzeugend dargestellt werden sollen.

Neben bewährten Darstellungsverfahren der Abbildungsergebnisse w_j (j=1, ..., nw)

wie Polaritätsprofil (Autorenkollektiv 1976);
Parallelkoordinatendiagramm, Histogramm;
Polarkoordinatendiagramm, z. B. Erfolgsspinne;
und Kreissektorendiagramm (PREISLER u. a. 1981),

wurden in den vergangenen Jahren diverse, z. T. kuriose Darstellungsvarianten vorgeschlagen.

Sie haben alle das Ziel, den schnellen, wenngleich nicht völlig sicheren visuellen Informationskanal der Menschen verbunden mit seiner unerreichten Auswertungsdichte von Eindrucksdaten zu erreichen. In diesem Sinne hat man davon auszugehen, dass ein Ideal- oder Basismuster existiert, auf das alle anderen Muster bezogen werden (Einordnung in Wertsystem).

3.4 Bewertungsverfahren

3.4.1 Bestimmen der Zielfunktion

Durch die Präzisierung der Problemstellung wird die Zielfunktion für die Bewertung von Lösungsvarianten bereits im Wesentlichen festgelegt. Dabei spielen

- das gesellschaftliche Bedürfnis,
  -das präzisierte Ziel (Ausgangsgröße A) mit den Anforderungen und Vorgaben zu Leistungsparametern, Kosten, Realisierungsterminen, Design, Lebensdauer und zur Umweltbeeinflussung

sowie

- Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung, die sich in den Lebensstufen Fertigung, Vermarktung, Nutzung, Service und Recycling ergeben,

eine besondere Rolle.

Die entscheidenden ökonomischen und technischen Parameter sind im Pflichtenheft fixiert. Hinsichtlich der Konsequenz ist folgende Gliederung der Forderungen möglich:

- Festforderungen, die (mit vorgegebenen Toleranzen) weder über- noch unterschritten werden dürfen
  Beispiele: Spurweite, Formatgröße, Anschlusskonventionen Diese Festforderungen werden nicht in die Bewertung einbezogen. Ihre Einhaltung ist in einer dualen „Vorabsiebung“ zu prüfen.
- Mindestforderungen, die einzuhalten sind (Limitierung), jedoch über- bzw. unterboten werden sollten oder können
  Beispiele: Herstellungskosten, Leistungsparameter (falls sie keine Festforderungen sind), ökologische Wirkungen, physische oder psychische Wirkungen
  Wünsche, die nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollen

Die Zielstellung wird im Rahmen der Problemstellung zunächst häufig verbal formuliert. So kann zum Beispiel gefordert sein:
„Es ist ein preisgünstiges Milchmengenmessgerät auszuwählen oder zu entwickeln, das sich in das Produktionskontrollsystem für Milchrinder gut eingliedert und einen Messfehler von kleiner als 10 % aufweist."
Aus dieser verbalen Form ist ein mathematisches Modell der Zielfunktion zu entwickeln. Im Abschnitt 3.2.1 wurden hierzu mehrere Modellklassen vorgeschlagen.

Für das Beispiel Milchmengenmessgerät sind aus der verbalen Zielstellung die Kriterien
r_1 Messgenauigkeit
r_2 Kosten (für Erstanschaffung, Installation, Betrieb)
r_3 Anpassungsfähigkeit an elektronische Messwerterfassungssysteme

herauszuarbeiten. Wechselwirkungen zwischen diesen Kriterien sollen vernachlässigt werden; der Gesamtwert ist durch die Summe der Einzelwerte zu bilden.
Es wird somit das additive Modell

$$w_i = c_1 r_1 + c_2 r_2 + c_3 r_3$$

gewählt.
Bei der Festlegung bzw. Auswahl der Bewertungskriterien sind generell folgende Regeln zu beachten:

- Die Anzahl der Kriterien ist sinnvoll zu beschränken!
  Werden zu wenig Kriterien einbezogen, so können wichtige Gesichtspunkte bei der Bewertung unberücksichtigt bleiben und Fehlentscheidungen getroffen werden.
  Werden zu viele Kriterien einbezogen, entsteht ein hoher Bewertungsaufwand, die Übersichtlichkeit nimmt ab, und wichtige Kriterien werden in Ihrem Gewicht vermindert.
- Die Kriterien müssen exakt und eindeutig definiert sein!
- Die Kriterien müssen dem konkreten Ziel der Problemstellung entsprechen!

Zur Unterstützung der Auswahl von Bewertungskriterien nennen wir folgende Beispiele:

- Kriterien der Funktionserfüllung
  - Leistungsparameter
  - Wirkungsgrad
  - Genauigkeit (Messgenauigkeit, Präzision)
  - Funktionssicherheit
- ökonomische Kriterien (für Hersteller und Nutzer)
  - Herstellungs- bzw. Beschaffungskosten (Forschung, Konstruktion, Erprobung, Fertigung, Vermarktung)
  - Betriebskosten
  - Instandhaltungsaufwand
  - Energiebedarf (und übrige Versorgungsmedien)
  - Erlöse
- Rechtliche Kriterien
  - Einhaltung von Gesetzen, Verordnungen und Standards
  - Patentfähigkeit
  - störende Schutzrechte
  - Möglichkeiten der Lizenznahme und -vergabe
- Kriterien zum Anwendungsbereich
  - Eingliederung in vorhandene technologische Systeme
  - Auswirkung auf die Arbeitsproduktivität
  - Universalität des Einsatzes, Anwendungsbreite

    - Einfluss auf Arbeits- und Lebensbedingungen
    - Bedienkomfort
    - Wartungsaufwand, Servicefreundlichkeit
- ökologische Kriterien
    - Wasserverbrauch oder Mehrfachnutzung
    - Schadstoffausstoß
    - FCKW-Nutzung

Für Erzeugnisse der metallverarbeitenden Industrie ist die TGL 31284 „ökonomische und technisch-ökonomische Bewertung von Erzeugnissen durch Kostenvergleich“ verbindlich.
Im Folgenden sind methodische Zyklen im Problemlösungsprozess dargestellt. Je nach den Bearbeitungsstufen

- Präzisieren der Problemstellung und Wahl der Bearbeitungsstrategie
- Festlegen der Gesamtfunktion
- Erarbeiten der Prinziplösung
- Gestaltung

und je nach Gebieten

- Grundlagenforschung
- Verfahrensentwicklung
- Konstruktion
- bzw. Ökonomie, Technik, Biologie, Medizin usw.

sind jeweils relevante Kriterien festzulegen. Während bei der Bewertung auf der Ebene der Prinziplösung z. B. in erster Linie Kriterien der Funktionserfüllung und prinzipielle Realisierbarkeit zu beachten sind, nimmt auf der Ebene der Gestaltung die Ökonomie die entscheidende Rolle ein.
Zum Bestimmen der Zielfunktion ist das Festlegen der Gewichtsfaktoren c_i erforderlich. Durch diese Wichtung wird die unterschiedliche Bedeutung der Bewertungskriterien in verschiedenen Bewertungssituationen berücksichtigt. Es hat sich als praktikabel erwiesen, wenn die Summe der Gewichtsfaktoren den Wert 1 annimmt.
Als Hilfsmittel zum Festlegen der Gewichtsfaktoren ist u. a. das Halbmatrizenverfahren geeignet. Weitere Möglichkeiten findet man in Abschnitt 3.4.3.

3.4.2 Normierung der Bewertungskriterien

Die Information über die zu bewertenden Varianten können als

- Versuchsergebnisse, Prüfberichte,
- Kalkulationen, Berechnungen,
- Expertenbewertungen oder
- eigene Abschätzungen (Antizipation) in verbaler, numerischer oder graphischer Form vorliegen.

Die Werte können metrisch, ordinal oder nominal skaliert sein.
Entscheidende Voraussetzung für die Verknüpfung von mehreren Teilzielen (Bewertungskriterien r_{ik}) zu einer gemeinsamen Zielfunktion ist das Vergleichbarmachen, also das Normieren der Informationen. Für viele Fälle hat sich dazu die Intervallskala mit den Elementen 0, 1, 2, 3 und 4 bewährt.
Diese Skalierung geht auf KESSELRING (1951) zurück, wurde von HANSEN (1965) übernommen und ist auch in der VDI-Richtlinie 2225 fixiert (s. schon Abschnitt 3.4.1).
Bei der Normierung ist zu beachten, dass die Skala für alle Bewertungskriterien gleichgerichtet ist. Das bedeutet, dass der Wert 4 stets der „beste“ ist. Für die Transformation von Kosten bekommen zum Beispiel niedrige Kosten hohe Skalenwerte.
Für die Normierung der Bewertungskriterien werden in Zusammenhang mit Abschnitt 3.4.1 folgende Arbeitsschritte empfohlen:

1. Es sind die Werte des Bewertungskriteriums festzulegen, die den Werten 0 und 4 der transformierten Skala entsprechen (Grenzwerte). Bei nichtmonotonen Kriterien sowie für mögliche Dimensionsreduktionen verwende man zuvor die in Tabelle 1 fixierten Algorithmen.
2. Die Transformationsfunktion ist zu bestimmen. Dabei ist zunächst zu prüfen, ob die Funktion
   - monoton fallend oder steigend
     und ob die Funktion
   - linear, quadratisch oder von exponentiellem Typ ist.
3. Falls eine nichtlineare Transformation erforderlich ist, sind weitere Wertpaare festzulegen.
4. Die Transformation kann grafisch oder numerisch mittels Transformationsfunktion erfolgen.

Für das Beispiel Milchmengenmessgerät ergibt sich jetzt folgende Normierung:

1. Arbeitsschritt
   Für das Bewertungskriterium Messgenauigkeit gilt:
   10 % Messfehler entspricht dem Wert 0
   1 % Messfehler entspricht dem Wert 4
   Für das Bewertungskriterium Kosten gilt:
   1 500 M entspricht dem Wert 0
   300 M entspricht dem Wert 4
2. Arbeitsschritt
   In beiden Fällen wird eine monoton fallende lineare Funktion angenommen.

3. Arbeitsschritt
   nicht erforderlich
4. Arbeitsschritt
   Die beiden Geraden werden in ein Diagramm eingezeichnet, die Werte für die Varianten werden graphisch ermittelt.

Für die Anpassungsfähigkeit der Messtechnik an elektronische Messwerterfassungssysteme wird vereinbart:

0 Punkte	kein elektrisches Signal abgreifbar
2 Punkte	zusätzlicher A/D-Wandler nachzurüsten
4 Punkte	frequenzanaloges Signal liegt vor

3.4.3 Wichtung der Kriterien

Hat der Bewerter sowohl die Monotonisierung als auch die Normierung der Bewertungskriterien vollzogen, steht er vor der Aufgabe, die Gewichtsfaktoren c_i für die einzelnen Kriterien festzulegen. Trotz verschiedener Hilfstechniken verbleibt bei dieser Quantifizierung ebenfalls eine subjektive Komponente in den Gewichtswerten.

Die Hilfstechniken der Kriterienwichtung sind ausnahmslos heuristische Strategien und bilden selbst bei genauester Bewertungsdatenerhebung eine wesentliche Gefahr für die Qualität der Entscheidungsfindung.

Für die Verbesserung der Verfahren der Kriterienwichtung besteht großer Handlungsbedarf.

Um abzusichern, dass $0 < w_4(e_k) < 4$ gilt, sind die Gewichte so zu relativieren, dass für die c_i| einer Bezugsebene immer

$$\sum_i c_i = 1 \qquad \text{mit } C_i > 0 \text{ folgt.}$$

Bsp. $w_1 = 0.1 * x_1 + 0.6 * x_2 + 0.3 * x_3$

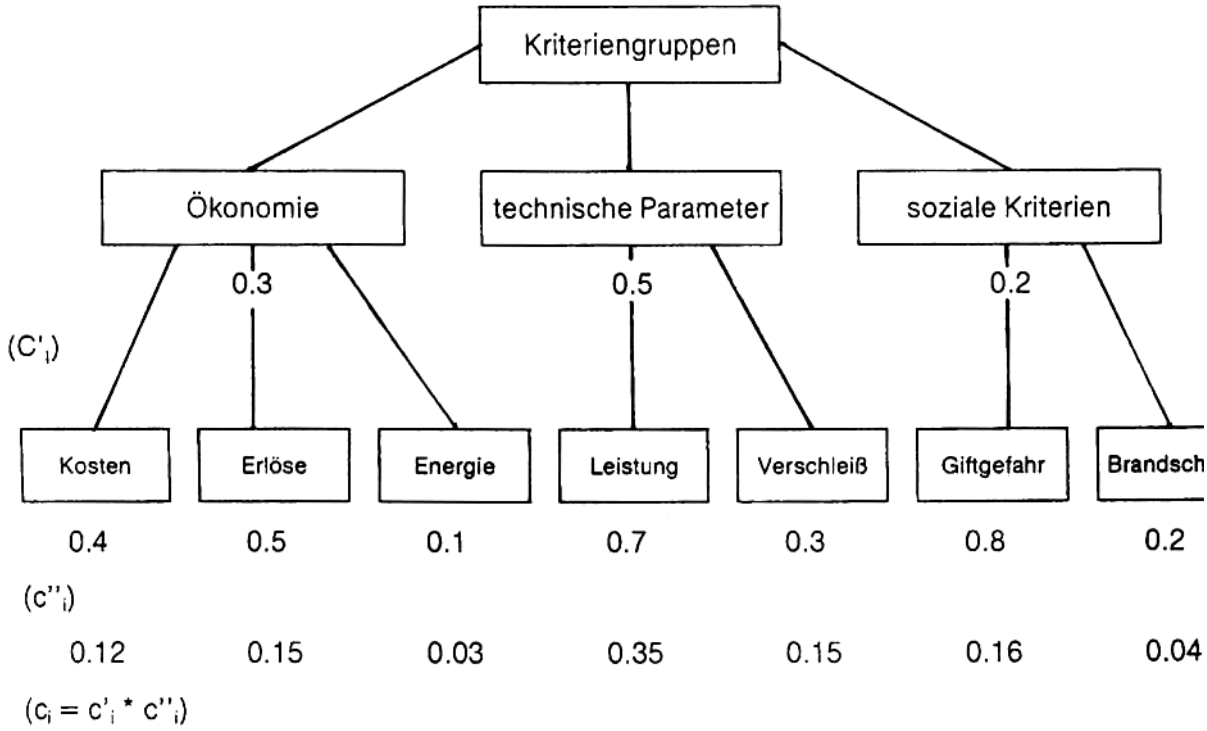
$$w_1 = x_1^{0.1} * x_2^{0.6} * x_3^{0.3}$$

aber

$$w_1 = 0.1\, x_1 + 0.6\, (x_2^{0.1}\, x_3^{0.6}\, x_3^{0.3}) + 0.3\, x_4$$

Bei großer Kriterienanzahl besteht mit nur geringer Einschränkung der Modellgenauigkeit die Möglichkeit einer hierarchischen Kriterienentwicklung:

Hierarchische Wichtung der Bewertungskriterien



Methodische Hinweise auf die grafische Darstellung der Bewertungsergebnisse findet man bei BUSCH, HERRENDÖRFER und FEIGE 1979. Eine erweiterte Beschreibung dieser Verfahren ist in Heft 2 der Reihe vorgesehen.

4. Rechnergestützte Bewertung

Bei einer großen Anzahl von Varianten und Bewertungskriterien ist ein erheblicher Aufwand zur Auswertung der Bewertungsdaten erforderlich. Diese Aufgabe kann relativ einfach rechnergestützt gelöst werden. Im Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock wurde dafür das Programm BEWERTUNG erstellt. Inzwischen ist im Programmsystem CARAT ein Modul zur Varianten-BEWERTUNG vorbereitet worden.
Für die Planung des Umfanges der Bewertungsdaten (Stichprobenumfang bei vorgegebenen Risiken der Entscheidung) findet der Nutzer in CARAT ebenfalls einen Rat. So steht zum Modul BEWERTUNG ergänzend das Programm BEWERTERZAHL zur Verfügung. Mit diesem lässt sich ebenfalls menügesteuert für die Fragestellungen

1. Auswahl der besten Variante aus a Varianten

und

2. Auswahl der besten k Varianten aus a Varianten bei Vorgabe entsprechender Risiken die Anzahl der Bewerter kalkulieren.

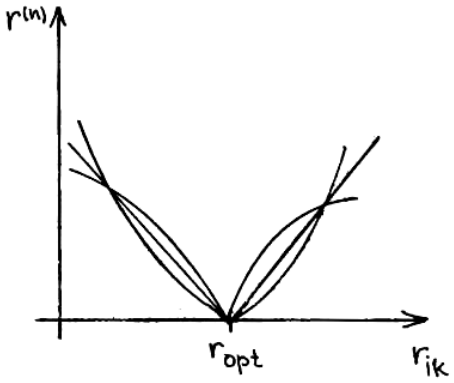
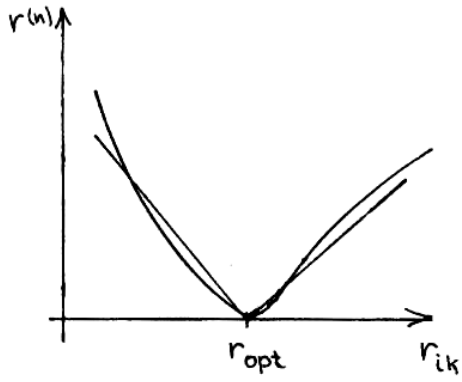
Liegt andererseits die Zahl der Bewerter fest, lassen sich mit BEWERTERZAHL Fragen der Aussagegenauigkeit quantifizieren.
Perspektiven der rechnergestützten oder sogar rechnerinternen Variantenbewertung bestehen sicher beim Einsatz in Expertensystemen. In diesem Zusammenhang gewinnen sie bei der automatischen Variantenbildung und rechnerinternen Lösungswahl immer mehr an Bedeutung.

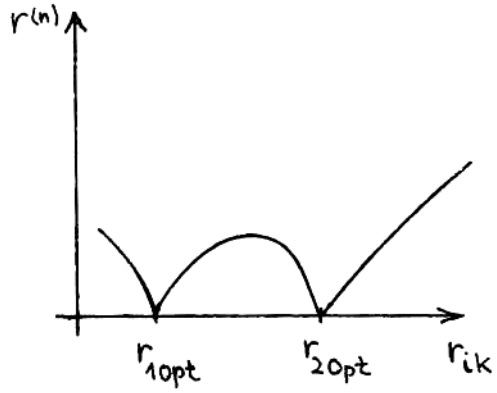
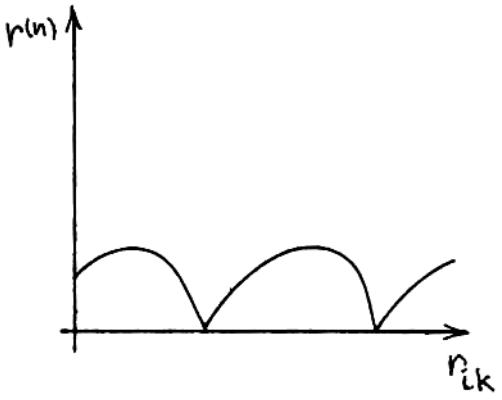
Eine Reihe von Fragestellungen zur Simulation menschlicher Entscheidungsfindungen basieren auf der beschriebenen Punktwichtungsmethode, wobei berücksichtigt werden muss, dass der Kompliziertheitsgrad der Bewertungsmodelle perspektivisch zunimmt.

Tabelle 1

Algorithmen zur Monotonisierung und Dimensionsreduktion von einzel- und mehrfaktoriellen Bewertungskriterien

a) Einzelmerkmale

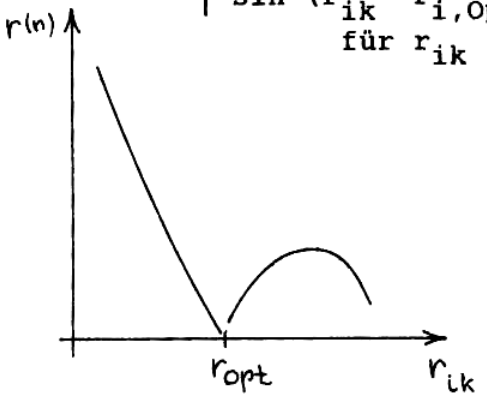
Algorithmus / Vignette	Nutzungssituation
$r^{(n)}_{ik} = \lvert r_{ik} - r_{i,Opt} \rvert^{c}$ 	Optimierung des Abstandes von einem Extrempunkt, c = Nichtlinearitätskonstante Fall: Abweichung vom optimalen Schlachtzeitpunkt.
$r^{(n)}_{ik} = \lvert f(r_{ik})\, r_{ik} - r_{i,Opt} \rvert^{c}$ 	wie oben, jedoch unsymmetrische Abstandsbewertung durch $f(r_{ik})$ z. B. $f(r_{ik}) = 1/r_{ik}$ oder $f(r_{ik}) = r_{ik}$ Fall: Ausschöpfung einer Aufwandvorgabe, bei der eine Unterschreitung von geringerer Bedeutung als eine Überschreitung ist.

Algorithmus / Vignette	Nutzungssituation
$r^{(n)}_{ik} = \min \left| f_j(r_{ik}) \left[r_{ik} - r_{i,Opt(j)} \right|^{c_j}$ 	Optimierung des minimalen Abstand mehreren Extrempunkten j Fall: Optimierung der Abweichung v klisch wiederkehrenden Optimalereig z. B. bei künstlicher Besamung
$r^{(n)}_{ik} = \left| \sin \left(f(r_{ik}) \left[r_{ik} - r_{i,Opt} \right] \right) \right|$ 	wie oben, jedoch mit regelmäßig fixierten Extrempunkten Fall: Optimierung der Abweichung von zyklisch wiederkehrenden Ereignissen, wie Tagesperiodik oder Jahreszyklus

Algorithmus / Vignette	Nutzungssituation
if-then-Strukturen	für spezielle, zusammengesetzte Zielsetzungen

z.B.

$$r^{(n)}_{ik} = \begin{cases} |\, r_{ik} - r_{i,Opt} \,|^2 & \text{für } r_{ik} < r_{i,Opt} \\ 1 & \text{für } r_i = r_{i,Opt} \\ |\, \sin (r_{ik} - r_{i,Opt}) \,| & \text{für } r_{ik} > r_{i,Opt} \end{cases}$$



Fall: Monotonisierung von Merkmalen, die sich aus Teilinformationen unterschiedlicher Genauigkeit zusammensetzen

b) mehrfaktorielle Bewertungskriterien

$$r^{(n)}_{ik} = \max_j \, |\, f(r_{jk}) * r_{jk} \,|^{c_j}$$

oder

$$r^{(n)}_{ik} = \min_j \, |\, f(r_{jk}) * r_{jk} \,|^{c_j}$$

gerichtete Wertung durch das Maximum bzw. Minimum von sich gegenseitig ersetzenden, aber c_j nicht überlagernden Kriterien
Fall: Wirkung von unabhängigen Gebrauchswerteigenschaften an einem landwirtschaftlichen Gerät

$$r^{(n)}_{ik} = \sum_j a_j \, r_{jk}$$

Dimensionsreduktion durch Teilindexmodelle mit festen Parametern a_j bei additiver bzw. multiplikativer Wirkung der Einzelfaktoren

bzw.

$$r^{(n)}_{ik} = a \, \widetilde{\prod_j} \, r_{jk}$$

Fall 1: Zusammenfassung von unübersichtlichen Gesamtmodellen durch determinierte Teilmodelle

bzw.

$$r^{(n)}_{ik} = \sum_j a_j \, \widetilde{\prod_{j_1}} \, r_{j1k}$$

Fall 2: Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen korrelierten Merkmalspaaren bei Witterungsfaktoren bzw. von Daten-Erhebungseinflüssen

Algorithmus / Vignette | Nutzungssituation

$$r^{(n)}_{ik} = \min_{j} \left(\max_{j_1} \left| f(r_{j1k})\, r_{j1k} \right|^{c_{j1}} \right)$$

Auswahl des Kriteriums, das das minimale (j) Maximum von gruppierten Kriterien (j_1) annimmt (analog maximales Min.)

bzw.

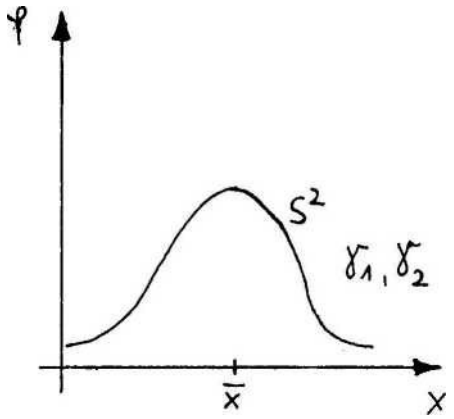
$$r^{(n)}_{ik} = \max_{j} \left(\min_{j_1} \left| f(r_{j1k})\, r_{j1k} \right|^{c_{j1}} \right)$$

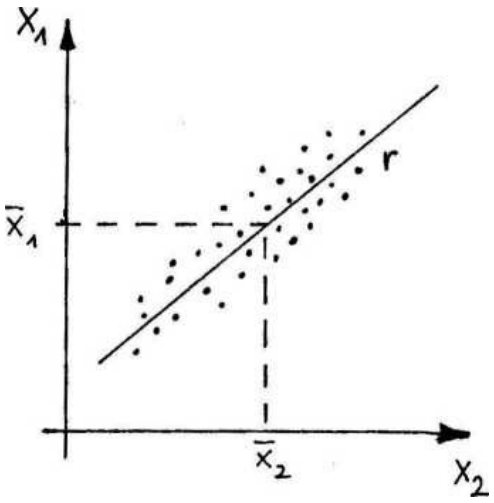
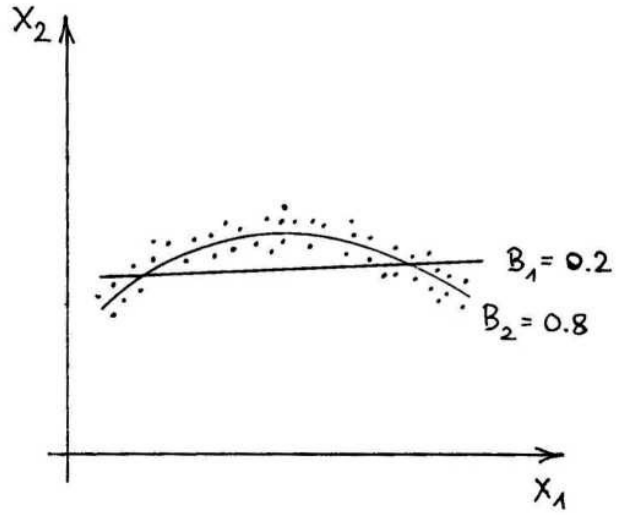
Fall: vielfältige Einsatzmöglichkeiten in Strategiespielen, umweltabhängiger Situationsbewertungen mit gegensinniger Ziel- und Erwartungsfunktion

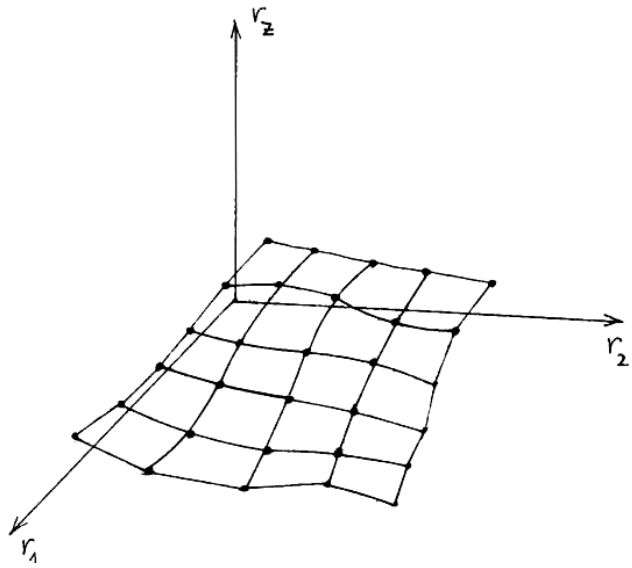
c) integrierte Kriterien

statistische Maßzahlen, wie Mittelwert (arithmetisch, geometrisch), Streuung, Schiefe, Exzeß...

Wertefolgen eines Merkmals für Einzelelemente der Gesamtlösung werden auf wesentliche Verteilungsparameter reduziert
Fall: wechselnder Anteil von Dauergrünland an verschiedenen Kontrollflächen ökologisch zu bewertender Gebiete



Algorithmus / Vignette	Nutzungssituation
Korrelationskoeffizienten (lineare Korrelation, Rangkorrelation) bzw. Co-Varianzen, Kontingenzkoeffizienten	Für die Bewertung einer Lösung stehen Tupelfolgen (r_a, r_b), für deren (Teil)-Elemente zur Verfügung
	Fall: bestimmte Fischkrankheiten werden durch die Veränderung des Korrelationskoeffizienten zweier physiologischer Merkmale angezeigt, ohne dass sich Mittelwert und Streuung der an den Fischen (Elemente) gemessenen Wertefolgen signifikant ändern.
Bestimmtheitsmaße	Es stehen mehrdimensionale Wertesatzfolgen (r_a, r_b, r_c...) für Einzelelemente der Bewertungssituation zur Verfügung, deren Struktur durch multiple Regressionen dargestellt werden können
	Fall: Sind verschiedene Modellauffassungen einer Kausalbeziehung zu vergleichen, ist das Bestimmtheitsmaß ein gutes Wertmaß für die Eignung des jeweiligen Modells

Algorithmus / Vignette	Nutzungssituation
Regressionsmodelle  	wie bei Bestimmtheits- bzw. Korrelationsmaßen, wobei hier nicht die Ausprägung des Zusammenhangsmaßes sondern das Regressionsmodell $r_z = f(r_a, r_b, ...)$ selbst durch Projektion von r_a, r_b, ... auf r_z zur Dimensionsreduktion genutzt wird. Fall: Zuchtwerte (Index); Gesamtbewertung aus Teilbewertungen bei hoher Bestimmtheit der Teilbeziehungen, d. h. anstelle von mehreren Einzelkriterien wird nur das Zielkriterium r_z bewertet.

Die Formeln für die hier nur genannten Algorithmen findet man in nahezu allen Statistik- und Biometriehandbüchern.

Die Tabelle lässt sich z. B. durch Glättungsalgorithmen oder andere Verfahrensprinzipien beliebig erweitern.

Die Kombination der genannten Methoden zu Hierarchien von Algorithmen ist möglich, wenn damit die beabsichtigten Zielfunktionen modelliert werden können.

5. Literatur

Autorenkollektiv
Wörterbuch der Psychologie
Leipzig 1976

Busch, K.
Methodologische Untersuchungen zum Erfindungsprozess
Dissertation B, Rostock 1984

Busch, B.; Busch, H.
Gesteuerte Intuition, Heft 1
Dummerstorf-Rostock: AdL der DDR 1979

Busch, K.; Herrendörfer, G.; Feige, K.-D.
Gesteuerte Intuition, Heft 2
Dummerstorf-Rostock: AdL der DDR 1979

Feige, K.-D.
Wissensbasierte Programmsysteme in der landwirtschaftlichen Forschung
Dissertation B, Dummerstorf 1990 (in Vorb.)

Fenzel, F.
Die Schule des Erfinders
C. Marhold Verlagsbuchhandlung Halle a. S. 1927 (2. Auflage)

Gilde, W.; Starke, C.-D.
Ideen muss man haben
Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1970

Gutzer, H.; Mehlhorn, H.-G.
Ideen- und Lösungsfindungsmethoden
Lehrbrief 10 - Reihe „Grundlagen des wissenschaftlich-technischen Schöpfertums in Forschungs- und Entwicklungsprozessen
Berlin, Jena 1984

Hansen, F.
Konstruktionssystematik
Berlin 1965

Heyse, V. u. a.
Vorbereitungsmaterial für internationale Kreativitätskurse „Kreative Bearbeitung technisch-wissenschaftlicher Probleme in interdisziplinären Gruppen“
Berlin 1986

Kesselring, F.
Technische Kompositionslehre
Berlin 1954

Koch, P.
Ausarbeiten und Präzisieren von Aufgabenstellungen
Lehrbrief 6 der Lehrbriefreihe „Grundlagen des wissenschaftlich-technischen Schöpfertums in Forschungs- und Entwicklungsprozessen“
Bauakademie der DDR, Berlin 1986

Müller, J.
Möglichkeiten und Probleme der Entwicklung der Konstruktionswissenschaften Maschinenbautechnik 28 (1979) 7, S. 292-297

Müller, J.
Methoden muss man anwenden
Halle (Saale): TWA Nr. 132 des ZIS der DDR 1980

Polovinkin, A. I. (Hrsg.)
Methoden der Suche neuer technischer Lösungen
Halle (Saale): TWA Nr. 121 des ZIS der DDR 1976

Preisler, W.; Schüler, W.; Schumann, E.
Bewertungsmethoden und -verfahren
TH Karl-Marx-Stadt 1981

Preisler, W.; Böttger, H.-B.
Bewerten von Lösungsvorschlägen
Lehrbrief 12 der Lehrbriefreihe „Grundlagen des wissenschaftlich-technischen Schöpfertums in Forschungs- und Entwicklungsprozessen“
Bauakademie der DDR, Berlin 1986